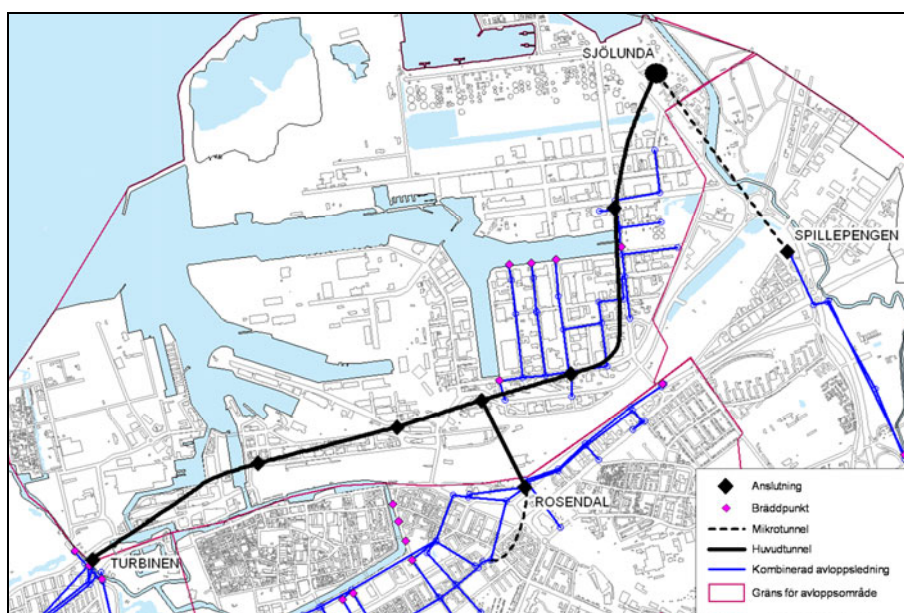


TUNNEL 2000, MALMÖ

Översiktlig utredning rörande en tunnel för avloppsvatten mellan Turbinens pumpstation och Sjölunda avloppsreningsverk i Malmö



Malmö 2008-11-05
 SWECO Environment AB
 VA-system, Malmö

Lars-Olof Hartzén

Olof Andersson

Uppdragsnummer 1230891000

SWECO
 VATTEN & MILJÖ
 Hans Michelsensgatan 2
 Box 286, 201 22 Malmö
 Telefon 040-16 70 00
 Telefax 040-15 43 47

Uppdrag 1230891000; HART
 p:\1236\1230891_tunnel2000\19original\va_081105.doc

Innehåll

1	Sammanfattning	1
2	Orientering	4
2.1	Tunnel 2000	5
2.2	Uppdragets målsättning och omfattning	6
3	Utförda undersökningar och bakgrundsfakta	9
3.1	Malmö GeoAtlas	9
3.1.1	Geologisk information	10
3.1.2	Hydrogeologisk och geofysisk information	10
3.1.3	Geotekniska och bergtekniska undersökningar	11
3.2	Hydrauliska data	11
3.2.1	Allmänt	11
3.2.2	Turbinens avloppsområde	11
3.2.3	Rosendals avloppsområde	12
3.2.4	Hamnen	12
3.2.5	Spillepengens avloppsområde	12
4	Principutförning av tunnel och tillöpsanordningar	14
4.1	Funktionssätt och anslutningar	14
4.2	Tunnelutförning	15
4.2.1	Huvudtunnel	15
4.2.2	Anslutningstunnlar	17
4.3	Tillopps- och pumpstationsschakt samt ventilation	19
4.3.1	Tillopp	19
4.3.2	Pumpstationsschakt vid Sjölanda avloppsreningsverk	20
4.3.3	Ventilation	21
4.4	Pumpning och reglering	22
4.4.1	Förslag till pumpsystem	23
4.4.2	Styrning och reglering	24
4.4.3	Energiförsörjning	24
4.5	Rensning	25
4.6	Skydd mot svavelväte	26
5	Hydrauliska förutsättningar	27
5.1	Regnvädersförhållanden	27
5.1.1	Inkommande avloppsvattenflöde	27
5.1.2	Dimensionerande situation	28
5.1.3	Reduktion av bräddning till känsliga recipienter	28
5.2	Torrvädersförhållanden	29
5.2.1	Inkommande avloppsvattenflöde	29
5.2.2	Kontroll av självrensning	30
5.3	Tömning av tunneln	31
5.4	Hydrauliska och vattenkemiska risker	31
5.4.1	Hydrauliska risker	31
5.4.2	Vattenkemiska risker	32

6	Grundförutsättningar	33
6.1	Geologiska förutsättningar	33
6.1.1	Översikt	33
6.1.2	Jordlager	33
6.1.3	Berggrund	34
6.2	Hydrogeologiska förhållanden	37
6.2.1	Grundvatten i jordlagren	37
6.2.2	Grundvatten i berggrunden	37
6.2.3	Kalkbergets magasinsegenskaper	38
6.2.4	Trycknivåer i kalkberget	39
6.2.5	Grundvattnets beskaffenhet	39
6.3	Geologiska risker	40
6.3.1	Tillgängliga data	40
6.3.2	Möjliga geologiska strukturer med hög hydraulisk konduktivitet	40
6.3.3	Passage av Inre Hamnen	40
6.3.4	Lång mikrotunnel i tunnelalternativ 2	41
6.3.5	Befintliga borrhål och brunnar	41
6.3.6	Jordlagren	41
6.3.7	Otillräckligt statistiskt underlag för entreprenadstyrningen	41
6.4	Tillkommande undersökningar	42
6.4.1	Inventeringsarbeten	42
6.4.2	Undersökningsborrningar och geofysisk loggning längs tunnelsträckningarna	42
6.4.3	Punktinsatser vid större vertikalschakt	43
6.4.4	Upprättande av kontrollprogram för grundvatten	44
7	Tunneldjup och tunnelsträckning	45
7.1	Alternativa sträckningar i plan	45
7.1.1	Tunnelsträckningsalternativ 1	45
7.1.2	Tunnelsträckningsalternativ 2	46
7.2	Alternativa sträckningar i profil	47
7.2.1	Tunnelsträckningsalternativ 1	47
7.2.2	Tunnelsträckning alternativ 2	48
7.3	Jämförelse mellan tunnelalternativen	49
7.3.1	Alternativ 1	49
7.3.2	Alternativ 2	50
7.3.3	Diskussion	50
8	Byggmetoder m m	52
8.1	Huvudtunnel	52
8.1.1	Allmänt	52
8.1.2	Borring	52
8.1.3	Fräsning	55
8.1.4	Rekommenderad byggmetod	57
8.2	Anslutningar	58
8.2.1	Allmänt	58
8.2.2	Borring	59

8.2.3	Schakt	59
8.2.4	Mikrotunnling	61
8.3	Tunnelanslutningar, lokalisering och utrymmesbehov	63
8.3.1	Angreppsschakt vid Sjölunda avloppsreningsverk	63
8.3.2	Anslutningsschakt vid Turbinens pumpstation	63
8.3.3	Anslutningsschakt vid Spillepengens pumpstation	63
8.3.4	Anslutningsborrning vid pumpstation Carlsgatan	63
8.3.5	Anslutningsborrning vid pumpstation Frihamnsallén	63
8.3.6	Anslutningsschakt vid pumpstation Skruvgatan	64
8.3.7	Anslutningsschakt vid pumpstation Kosterögatan	64
8.3.8	Anslutningsschakt vid pumpstation Flintränegatan	64
8.3.9	Anslutningsschakt vid utjämningsmagasin i Föreningsgatan	64
8.3.10	Anslutningsschakt vid Rosendals pumpstation	64
8.3.11	Anslutningsborrningar för ventilation	65
8.4	Hantering av schaktmassor, vatten och utrustning	65
8.4.1	Arbetsplats Sjölunda	65
8.4.2	Arbetsplats Turbinen	66
8.4.3	Arbetsplats Rosendal	66
8.4.4	Arbetsplats Spillepeng	67
8.4.5	Arbetsplats Carlsgatan	67
8.4.6	Arbetsplats Frihamnsallén	67
8.4.7	Arbetsplats Skruvgatan	67
8.4.8	Arbetsplats Kosterögatan	67
8.4.9	Arbetsplats Flintränegatan	68
8.4.10	Arbetsplats Föreningsgatan	68
8.4.11	Arbetsplatser vid ventilationsschakt	68
8.5	Lokalisering av upplag eller deponier för schaktmassor	68
8.6	Logistik och trafik	69
8.6.1	Transport av schaktmassor	70
8.6.2	Villkor för transporter	70
8.6.3	Förutsättningar för arbeten vid eller på väg	70
8.6.4	Beskrivning av åtgärder vid arbetsplatser	71
9	Tillståndsfrågor och miljökonsekvenser	74
9.1	Allmänt	74
9.2	Tillstånd enligt miljöbalken	75
9.2.1	Erfarenhet från Citytunnelprövningen	76
9.2.2	Samråd	76
9.2.3	Hantering av samråd	77
9.2.4	Tillståndsansökan	78
9.2.5	Uppskattad tidsram för tillståndsansökan	79
9.3	Tillstånd enligt plan- och bygglagen	80
9.3.1	Malmö stads planering för området	80
9.3.2	Uppskattad tidsram för planprocessen	81
9.4	Miljökonsekvenser	83
9.4.1	Avgränsning av miljöaspekter	83
9.4.2	Masshantering	84
9.4.3	Trafikfrågor, utsläpp till luft	84

9.4.4	Buller, vibrationer	85
9.4.5	Grundvatten	85
9.4.6	Sättningar	86
9.4.7	Föroreningar	86
9.4.8	Natur- och kultur	86
9.4.9	Ljus86	
9.4.10	Lukt86	
9.5	Positiva miljöeffekter då tunneln är utförd	87
9.5.1	Reduktion av bräddning	87
9.5.2	Minskning av risk för översvämning	87
9.5.3	Jämnare belastning på Sjölunda avloppsreningsverk	87
9.5.4	Förbättrad säkerhet	87
9.5.5	Förbättring av tillgänglighet till byggbar mark	87
9.5.6	Bättre avbördningssystem	88
9.5.7	Förbättring av arbetsmiljön	88
9.5.8	Reduktion av antalet bilresor	88
10	Kostnadsbedömning	89
10.1	Allmänt	89
10.2	Anläggningskostnader	89
10.2.1	Projekteringskostnader	89
10.2.2	Byggherrekostnader	89
10.2.3	Byggkostnader	90
10.2.4	Totala anläggningskostnader	93
10.3	Drift- och underhållskostnader	94
10.3.1	Energikostnader	94
10.3.2	Övriga driftkostnader	94
10.3.3	Underhållskostnader	95
10.3.4	Totala drift- och underhållskostnader	95
10.4	Analys av kostnadsbedömningens tillförlitlighet	96
11	Tidplan	98
11.1	Kompletterande fältundersökningar	98
11.2	Förprojektering	98
11.3	Hantering av tillstånd	98
11.4	Detaljprojektering	98
11.5	Upphandling	98
11.6	Byggande	99
11.7	Totaltid från beslut till färdigställande	99

Bilagor

Bilaga 1	Inloppshydrografer och avloppsvattenmängder
Bilaga 2	Översiktlig tidplan
Bilaga 3	Jämförelse av bräddningspåverkan före respektive efter en tunnelanläggning
Bilaga 4	Befintliga borrhningar i kalkberg
Bilaga 5	Geofysisk borrhålsloggning och flödesloggning
Bilaga 6	Provpumpningar och kapacitetstester i Citytunnelprojektet
Bilaga 7	Bergmekaniska undersökningar i Citytunnelprojektet
Bilaga 8	Malmö GeoAtlas – Geologisk översikt
Bilaga 9	Time and cost estimates for shaft and tunnel construction

Ritningar

<i>Nr</i>	<i>Benämning</i>	<i>Skala</i>
R01-001	VA-plan förslag 1	A1 1:5 000, A3 1:10 00
R01-002	VA-plan förslag 1	A1 1:5 000, A3 1:10 00
R01-003	VA-plan förslag 2	A1 1:5 000, A3 1:10 00
R01-004	VA-plan förslag 2	A1 1:5 000, A3 1:10 00
R11-001	Detaljplan Turbinen, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-002	Detaljplan Carlsгатan, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-003	Detaljplan Frihamnsallén, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-004	Detaljplan Rosendal, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-005	Detaljplan Carlsгатan, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-006	Detaljplan Föreningsгатan, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-007	Detaljplan Kosterögatan, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-008	Detaljplan Flintränegatan, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-009	Detaljplan Sjölundа, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-010	Detaljplan Spillepengen, förslag 1A1	1:500, A3 1:1 000
R11-011	Detaljplan Frihamnsallén, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-012	Detaljplan Rosendal, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-013	Detaljplan Föreningsгатan, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-014	Detaljplan Skrugгатan, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-015	Detaljplan Kosterögatan, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-016	Detaljplan Flintränegatan, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-017	Detaljplan Sjölundа, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000
R11-018	Detaljplan Spillepengen, förslag 2A1	1:500, A3 1:1 000

1 Sammanfattning

Stora delar av Malmö innerstad har kombinerade avloppsledningar. Vid kraftig nederbörd överbelastas därför ofta de stora pumpstationerna som svarar för överföring av avloppsvattnet till Sjölunda avloppsreningsverk. Stora mängder orenat avloppsvatten bräddas vid dessa tillfällen till Malmö innerstadskanaler och till Segeå. Även i Östra hamnen sker bräddning till hamnbassängerna från ett antal pumpstationer vid sådana tillfällen.



Bild 1 Parkkanalen, recipient för bräddvatten

Ett sätt att radikalt minska dessa bräddningar och samtidigt förbättra behandlingen vid reningsverket skulle vara att ersätta tryckledningarna från de stora pumpstationerna med en tunnel i berggrunden och då även ansluta pumpstationerna i Östra hamnen till tunneln.

Genom utförande av en tunnel skulle bräddvolymerna till recipienterna innerstadskanalen och Östra hamnen minska med cirka 90 % och till Segeå med ca 50 %.

De tre större avloppspumpstationerna har de senaste åren vid kraftiga regn haft dämningssproblem med tillhörande översvämningar i källarfastigheter närmast pumpstationerna. Sedan år 2005 uppgår skadeersättningskraven från drabbade fastigheter till ca 7 MSEK varav

den största delen kommer från drabbade fastigheter vid Kronprinsen. Dess översvämningssproblem skulle försvinna ifall tunneln utförs.

Med en avloppstunnel skulle dessutom betydliga arbetsmiljöförbättringar kunna erhållas genom att flera äldre pumpstationer, tre stora och fem mindre, ersätts med en ny vid Sjölunda avloppsreningsverk. Idékonceptet som är en vidare bearbetning av tidigare utredningar Tunnel 2000, VBB VIAK 1995-01-17 och VA-tunnel 2010, SWECO VBB VIAK 2002-11-12, har givits arbetsnamnet *Tunnel 2000*.

Den nuvarande sträckningen av de allt äldre tryckavloppsledningarna leder under stora delar av Malmö bangårdsområde och intill den snart färdigställda Citytunneln. Genom att bygga tunneln skulle den säkerhetsrisk som ett ledningshaveri utgör för järnvägsanläggningarna kunna elimineras.

Dagens tryckavloppsledningar kommer att inom en snar framtid behöva renoveras eller bytas ut. Detta arbete kommer att vara mycket komplicerat och förenat med föroreningsrisker eftersom avloppsvattnet under hela arbetstiden måste kunna föras vidare till Sjölunda avloppsreningsverk. Kostsamma problem kan komma att uppstå då flödet ökar vid regntillfällena.

Tunneln är tänkt att tjäna både som transportsystem och utjämningsmagasin. Tills vidare har den skissats som en självfallsledning med en inre diameter mellan 3,9 – 4,2 m beroende på val av alternativ. Avloppsvatten avses i huvudsak tillföras genom vertikala schakt vid de nuvarande pumpstationerna men även genom anslutande mindre tunnlar s k mikro tunnlar. Dessa är egentligen större rörledningar som installeras i berggrunden. Alla tunnelavsnitten utförs med självrensande lutning för att minimera underhållet. Vid tunnelns slut anordnas en underjordisk pumpstation med kapacitet för uppföring av ca 7 m³/s direkt till Sjölunda avloppsreningsverks inlopp.

De geologiska förhållandena utgörs grovt förenklat av ca 10-15 m jordlager, huvudsakligen bestående av fyllning på lermorän. Härunder följer ca 60-90 m mäktig kalksten av växlande sammansättning och sprickighetsgrad: Denna består av enheterna Köpenhamnkalksten och Bryozokalksten, som i sin tur vilar på 100-tals meter kalkslamstenar (Skrivkrita). Förutsättningarna för att bygga en tunnel synes vara mest gynnsamma i den övre delen av Bryozokalkstenen.

Kalkbergets vattenförande förmåga är oftast hög i kalkstenens övre delar men avtar mot djupet och är troligen måttlig vid den föreslagna tunnelnivån. En tunnel måste med tanke på grundvattensituationen

och för att minimera omgivningspåverkan utföras med täta väggar mot omgivningen. Byggmetoden för tunneln måste också väljas så att drivningen påverkar och påverkas av grundvattnet på ett minimalt sätt.

Av såväl miljömässiga som tekniskt ekonomiska skäl föreslås att tunneln preliminärt placeras på ca 20-30 m djup längs en linje från Turbinen via Östra hamnen mot Sjölunda avloppsreningsverk och med anslutning av pumpstation Rosendal med en tvärtunnel mot huvudtunneln vid Skrugatan, benämnt alternativ 2. Pumpstation Spillepeng och fördröjningsmagasin i Föreningsgatan ansluts till huvudtunneln via mikrotunnlar. Tunnelns längd skulle då uppgå till 6,1 km och mikrotunnlarna totalt till 2,0 km.

Den föreslagna tunneln kan med fördel utföras med en tunnelbormaskin för fullortsboring och de mindre anslutningstunnlarna med så kallat mikrotunnelaggregat. De totala anläggningskostnaderna har bedömts uppgå till i storleksordningen drygt 1 000 MSEK i 2008 års prisnivå. Detta innebär en kapitalkostnad av 53 MSEK/år beräknad med real annuitetsmetod och enligt gängse avskrivningsregler.

Drift och underhållskostnaderna för den nya anläggningen har bedömts uppgå till ca 12 MSEK/år varav knappt hälften utgörs av energikostnad. En egenproduktion med vindkraft kan övervägas mest utifrån miljöaspekter, men också för långsiktig elförförsörjning.

2 Orientering

Stora delar av Malmö innerstad har kombinerade avloppsledningar för spill- och dagvatten. Inom staden transporteras avloppsvattnet i huvudsak via självfall medan överföringen till reningsverket sker genom pumpning. I princip samlas nästan allt avloppsvatten i tre stora pumpstationer vid Turbinen, Rosendal och Spillepengen för att pumpas vidare till Sjölunda avloppsreningsverk (figur 1). Sjölunda avloppsreningsverk betjänar för närvarande huvuddelen av Malmö Stad samt delar av grannkommunerna Burlöv, Lomma och Staffanstorp.



Figur 1 Översikt av det undersökta området med pumpstationer och reningsverk markerade

I hamnområdet finns dessutom ett antal mindre pumpstationer vilka ansluter till huvudtryckavloppsledningarna mellan Turbinens pumpstation och Sjölunda avloppsreningsverk.

Staden har också ett stort utjämningsmagasin i Föreningsgatan vilket är anslutet till Rosendals pumpstation via en $\Phi 1200$ mm ledning.

Vid kraftig nederbörd har ledningssystemet och i synnerhet de tre stora pumpstationerna och utjämningsmagasinet i Föreningsgatan men även ett par av de mindre pumpstationerna i hamnen ofta problem med överbelastning. Vid sådana tillfällen bräddas överskottsvattnet till recipienterna Malmö kanal och Sege å. Viss bräddning sker även till Malmö hamn. Trots den begränsade kapaciteten vid pumpstationerna är flödesbelastningen på Sjölunda avloppsreningsverk för hög för fullständig behandling. För att undvika bräddningar vid reningsverket har här byggts en anläggning för bräddvattenhantering.

I takt med skärpta krav på utsläpp av avloppsvatten har behovet av åtgärder på ledningsnätet ökat. Avsevärda insatser har redan utförts bl a genom avancerad flödesstyrning, byggande av olika fördröjningsmagasin samt separering av spill- och dagvatten. Trots dessa insatser finns behov av ytterligare förbättringar.

2.1 Tunnel 2000

Ett sätt att radikalt minska bräddningen av obehandlat avloppsvatten och samtidigt förbättra behandlingsförhållandena vid reningsverket skulle vara att ersätta tryckledningarna från de tre stora pumpstationerna till reningsverket med en tunnel i berggrunden. Idékonceptet som är en vidare bearbetning av tidigare utredningar Tunnel 2000, VBB VIAK 1995-01-17 och VA-tunnel 2010, SWECO VBB VIAK 2002-11-12, har givits arbetsnamnet *Tunnel 2000*.

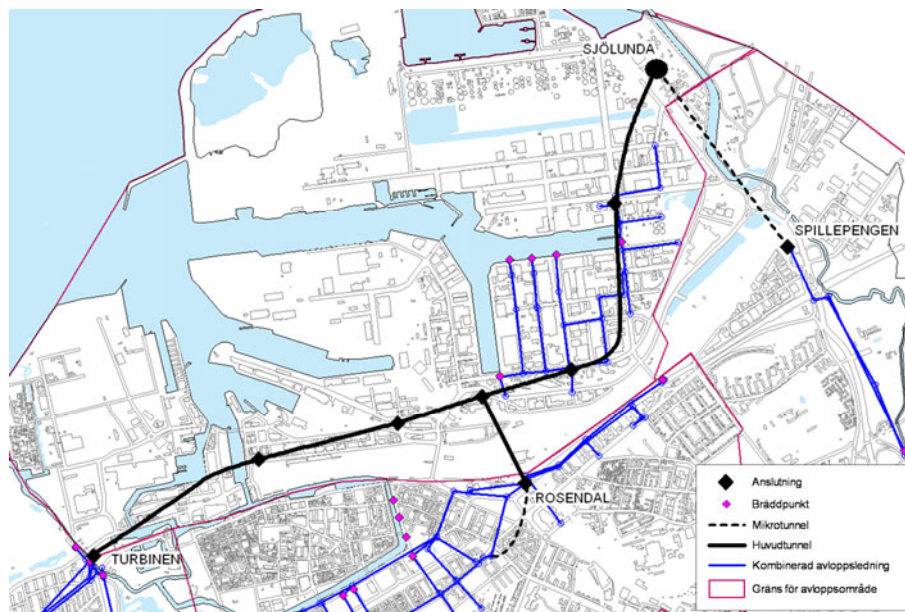
En tunnel med stor transportkapacitet från Turbinen via Rosendal och Spillepengen ut till Sjölunda och med anslutning även av utjämningsmagasinet i Föreningsgatan samt pumpstationerna i hamnområdet skulle reducera bräddningen till Malmös känsliga recipienter högst väsentligt. Det skulle innebära att vatten istället för att bräddas vid pumpstationerna kan ledas till reningsverket för rening vilket ger en totalt sett minskad föroreningsbelastning på Öresund.

En tunnel med stor volym skulle dessutom kunna tjäna som fördröjnings- och utjämningsmagasin för avloppsvatten vilket kommer att medge en stabilare drift vid Sjölunda avloppsreningsverk.

Vid anläggande av en avloppstunnel skulle betydande besparingar av drifts- och underhållskostnader kunna erhållas genom att de tre äldre pumpstationerna vid Turbinen, Rosendal och Spillepengen samt pumpstationerna i hamnområdet ersätts med *en* ny pumpstation. Denna skulle placeras i direkt anslutning till reningsverksområdet vid Sjölunda.

Slutligen skulle de befintliga stora tryckavloppsledningarna genom staden kunna tas ur drift. Dessa utgör i dag betydande hinder inom planerade exploateringsområden som t ex vid Skeppsbron. En tunnel skulle dessutom ge helt andra möjligheter för inspektion och underhåll.

En översikt över det kombinerade avloppsnätet och dess anslutningar till en tänkt avloppstunnel framgår av figur 2 nedan.



Figur 2 Översikt över det kombinerade avloppsnätet som är anslutet till Sjölundas avloppsreningsverk

2.2 Uppdragets målsättning och omfattning

På uppdrag av VA SYD har SWECO genomfört en fördjupning av de tidigare utredningarna *Tunnel 2000* och *VA-tunnel 2010*. Fördjupningen har utförts i en projektgrupp tillsammans med VA SYD. Gruppen har bestått av Ulf Thysell, Hans-Erik Carlsson, Stefan Milotti och Lemiss Sebty från VA SYD och Lars-Olof Hartzén, Pär Svensson, Gösta Ericson, Daniel Sevelin, Mats Åkesson, Annelie Ålund, Stefan Krii, Johan Landberg m fl från SWECO. Som teknisk expert rörande tunnelborrning har anlåtats ingenjör Lars Babendererde, Babendererde Engineers, Tyskland. Projektledare hos SWECO har varit Lars-Olof Hartzén. VA SYD har svarat för hydrauliska indata till utredningen samt för bedömning av positiva miljökonsekvenser till följd av tun-

neln och utredning av upplagsområden för schaktmassor. Övriga delar av utredningen har SWECO svarat för.

Målsättningen med arbetet har varit att utredningsresultatet ska kunna utgöra beslutsunderlag för ett politiskt beslut rörande genomförande av en tunnel för avledning av avloppsvatten från Turbinens pumpstation till Sjölunda avloppsreningsverk. På tunnelsträckan ska även anslutning ske av Rosendals pumpstation, utjämningsmagasin i Föreningsgatan, Spillepengens pumpstation samt en del mindre pumpstationer i hamnen.

Två olika sträckningsförslag har sålunda studerats, vars sträckningar har optimerats med avseende på planerade anslutningar, geologiska, hydrogeologiska och bergmekaniska förutsättningar samt byggmetoder och ekonomi.

Frågor som omgivningspåverkan t ex på grundvatten (både in – och utläckage), stabilitet o d belyses också i beskrivningen. Geologi och grundvattenförhållanden samt bergrundsp parametrar som är styrande för val av tunnelläge redovisas.

För aktuell typ av projekt bildar planfrågor samt miljö- och tillståndsfrågor en betydande del av förarbetena. I denna rapport beskrivs hur dessa lämpligen hanteras i projektet.

De geologiska förhållandena är relativt sett välkända i anslutning till Malmö C, men uppgifter saknas strängt taget helt för resten av tunnelsträckningen, vilket gör den geologiska prognosen ytterst osäker. Av detta skäl har ett förslag till kompletterande fältundersökningar har tagits fram och kostnadsberäknats.

Tunneldimension samt dimensioner på anslutningar har tagits fram varvid SWECO har svarat för bedömningar med hänsyn till gynnammaste byggmetod samt för hydraulisk dimensionering av tunnel och pumpanläggning. VA SYD har svarat för hydraulisk modellering samt dimensionering av anslutningsledningar.

Utrymmeskrav för angreppsschakt o d har behandlats och möjlig placering för dessa har utretts även med avseende på trafikpåverkan. Det gäller främst ute vid Sjölunda avloppsreningsverk men även vid de stora pumpstationerna och vid magasinet i Föreningsgatan samt där ytterligare schakt kan bli aktuella till följd av anslutningar, inspektionsschakt e d. Lokalisering av pumpstation m m vid Sjölunda av-

loppsreningsverk har skett i samråd med driftansvarig personal på avloppsreningsverket.

Hantering av schaktmassor belyses och förslag till en plan för hanteringen har tagits fram. SWECO har därvid svarat för bedömning av mängd och typ av massor medan VA SYD har undersökt tillgängliga upplags- eller deponeringsställen.

Utformning av pumpstation vid Sjölunda avloppsreningsverk samt reglering av pumpningen belyses översiktligt.

De miljövinster som sålunda uppstår vid ett byggande av tunneln har även belysts. Denna del har VA SYD svarat för. Miljökonsekvenser i samband med byggandet har även utretts översiktligt av SWECO.

3 Utförda undersökningar och bakgrundsfakta

Inga fältarbeten eller dylikt har utförts speciellt för denna utredning. Arbetet är i stället baserat på i Malmö GeoAtlas tillgängligt material som uppdaterats med data erhållna från Citytunnelprojektet samt på de basfakta som finns i de tidigare utredningarna.

Hydrauliska indata har uppdaterats med avseende på de förändringar som har skett i ledningssystemet sedan den föregående utredningen 2002 och på mätningar av flöden som kontinuerligt har utförts av VA SYD i de aktuella pumpstationerna.

Erfarenheter från byggande av Citytunneln har i hög grad beaktats, dels genom att geologisk, hydrogeologisk och geoteknisk information från projektet kunnat utnyttjas och dels genom att SWECO-personal som har varit djupt involverade i projektets byggledningsorganisation har medverkat i utredningen.

3.1 Malmö GeoAtlas

Information om de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i området har hämtats från Malmö GeoAtlas databas och dess referensarkiv.

Malmö GeoAtlas databas innehåller information från geovetenskapliga-, geotekniska-, geologiska-, geohydrologiska och arkeologiska undersökningar i Malmö Stad. Informationen är knuten till lägesbestämda punkter, bl a olika typer undersökningsborrningar, provtagningar och sonderingar. Databas och referensarkiv innehåller också uppgifter om observationsbrunnar i jord och berg, grundvattennivåmätningar samt kemiska, mekaniska och fysikaliska analysresultat.

Informationen i Malmö GeoAtlas kommer från en rad olika källor, bl a förvaltningar i Malmö Stad, Sveriges Geologiska Undersökningars brunnarsarkiv samt Citytunnelprojektet. Vidare finns ett betydande material från enskilda hydrogeologiska undersökningar inarbetade.

Det finns dock ytterligare material som ännu inte ingår i GeoAtlas, exempelvis från Entré Malmö, Geotermiprojektet i Spillepeng (EON),

akviferlager på Kranenområdet samt ett antal andra enskilda liknande system som anlagts under senare tid.

3.1.1 Geologisk information

Med hänsyn till de två tunnelalternativens geografiska placering har borrhål och utredningar med geologisk information sökts ut i Malmö GeoAtlas inom ett område av ca 20 km².

På det geografiska urvalet har ett förfinat urval gjorts för att belysa omfattningen av väldokumenterade borrhål och undersökningar innehållande geologisk-, hydrogeologisk-, geoteknisk- och bergtekniska värdefull information.

På kartan i bilaga 4 redovisas befintliga borrhningar i kalkberget. De aktuella borrhningarna (358 st) har tillhörande beskrivning av borrhkax eller kärprov i berg och/eller nivåuppgift för kalkbergets överyta. Dessa har klassats innehålla användbar information med hög tillförlitlighet.

Inom urvalsområdet finns även ett stort antal sonderingsborrningar (3163 st) och skruvprovtagningar i jordlagren (3096 st), vilka inte redovisas på kartan. Information från dessa ligger inbakade i den allmänna geologiska lagerföljden som framgår av bilaga 8.

Av kartan, bilaga 4, framgår att huvuddelen av borrhningarna i berg är koncentrerade till Citytunneln och Malmö Centralstation. I nära anslutning till planerade tunnelsträckningar förekommer endast ett fåtal väldokumenterade borrhningar i berg.

3.1.2 Hydrogeologisk och geofysisk information

På kartan i bilaga 5 redovisas borrhål där geofysisk borrhålsloggning och flödesloggning har genomförts. Tillgängliga data härrör i huvudsak från Citytunnelprojektet.

På kartan i bilaga 6 redovisas genomförda provpumpningar och kapacitetstester inom Citytunnelprojektet.

Huvuddelen av de hydrogeologiska undersökningarna är lokaliserade till området kring Citytunneln och Malmö Centralstation. I området öster om Malmö C till Sjölunda är informationen ytterst begränsad.

3.1.3 Geotekniska och bergtekniska undersökningar

På kartan i bilaga 7 redovisas borrhål där bergmekaniska undersökningar har utförts på uttagna kärnprov. Samtliga bergmekaniska undersökningar har utförts inom ramen för Citytunnelprojektet.

3.2 Hydrauliska data

3.2.1 Allmänt

Vid beräkningar av inkommande dagvattenflöden har beräkningsregn av CDS-typ med återkomsttider 2, 5 och 10 år använts. CDS-regnen är framtagna ur intensitets- och varaktighetssamband enligt Dahlström. För att ta hänsyn till eventuell klimatförändring har Z-parametern satts till 18, vilket motsvarar en ökning på 20 % jämfört med nuvarande förhållanden för Malmö.

Som utgångspunkt för genomförda bräddningsberäkningar har nederbördsdata från Malmö, mätstation Turbinen använts. Ledningsmodeller för de kombinerade avloppsneten anslutna till Sjölunda avloppsreningsverk har simulerats med uppmätt nederbörd för perioden 2006-01-01 – 2007-10-01.

Torrväderstillrinningen från Turbinens, Rosendals och Spillepengens pumpstationer har hämtats från driftövervakningssystemet. Från pumpstationerna i hamnen finns inga flödesmätserier. Torrvädersflödena från hamnen är baserade på verksamhetsstatistik.

Utseendet hos det kombinerade avloppsledningsnätet som simulerats har modifierats så att det anses gälla för en situation ca tio år framåt i tiden. De större förändringarna på ledningsnätet som kommer att påverka flödena till reningsverket, förutom avskaffandet av pumpstationerna, beskrivs översiktligt i följande stycken.

3.2.2 Turbinens avloppsområde

Intagsledningen till Turbinens pumpstation från det kombinerade systemet styrs idag mot nivån i pumpsumpen. Syftet är att vattnet från spillvattensystemet ska prioriteras. När nivån i pumpsumpen stiger till en viss kritisk nivå, stängs den kombinerade intagsledningen. Vid beräkningarna för inkommande dagvattenflöden till föreslagen tunnel har ledningsdimensionen, 1 250 mm, bibehållits och strypningen tagits bort. Bräddavloppet vid Turbinkanalen ansluts i beräkningarna till tunneln via en mikrotunnel med invändig diameter 1 600 mm men vars lutning anpassas att klara flöde från befintlig på ledning med diameter 2 m.

I övrigt gäller för framtida förhållanden att Projekt Rönneholm är slutfört. Projektet innebär att stora delar av Rönneholm och Ribersborg får verksamt duplikatsystem medförande mindre belastning på Turbinen.

Andelen hårdgjord yta som belastar den simulerade ledningsnätmodellen för Turbinen uppgår till 256 ha och omfattar fyra bräddavlopp.

3.2.3 Rosendals avloppsområde

Vid beräkningar för dagvattenflöden från Rosendals avloppsområde har framtida förbättring av avlopps nätet i Sorgenfri beaktats. Efter exploatering i Sorgenfri industriområde kommer det kombinerade avlopps nätet att ha blivit separerat medförande avlastning av utjämningsmagasinet i Föreningsgatan.

Beräkningarna utgår från att separeringen av avloppet i Rådmansvången är genomförd. Denna åtgärd medför att bräddavloppen i Fersens väg, Davidshallsgatan och Södra Förstadsgatan är slopade.

Andelen hårdgjord yta som belastar den simulerade ledningsnätmodellen för Rosendal uppgår till 232 ha och omfattar åtta bräddavlopp.

3.2.4 Hamnen

Den största delen av Hamnens avloppssystem är byggt enligt duplikatsystem utom vissa äldre delar som Östra Hamnen där ledningsnätet är byggt som kombinerat system. Vattnet från det kombinerade systemet stryps kraftigt i mindre ledningar innan det tas in i pumpstationerna i Flintränegatan och i Borrgatan. Vid simulering av framtida förhållanden för Hamnens kombinerade avlopps nät har dimensionerna på dessa ledningar ändrats till 1 600 mm, samma invändiga diameter som hos föreslagna mikrotunnlar.

Strax nedströms bräddavloppet i Flintränegatan vid Ostkajen ligger en kombinerad ledning 600 mm som begränsar flödeskapaciteten. I genomförda beräkningar har dimensionen bibehållits.

Andelen hårdgjord yta som belastar den simulerade ledningsnätmodellen för Östra Hamnen uppgår till 90 ha och omfattar fem bräddavlopp.

3.2.5 Spillepengens avloppsområde

För Spillepengens avloppsområde har inga förändringar gjorts som kan komma att påverka storleken på dagvattenflödena till Sjölunda avloppsreningsverk. Söder om Videdalsskolan finns ett större område

med duplikatsystem som belastar det kombinerade ledningsnätet. Dagvattnet härifrån är emellertid hårt strypt innan det leds vidare i kombinerat system, varför det har valts att bibehållas i genomförda modellberäkningar.

För att förhindra överbelastning på Spillepengens pumpstation finns vid Stockholmsvägen en reglerventil som stryker det kombinerade vattnet innan det går in i spillvattenhuvudledningen.

Andelen hårdgjord yta som belastar den simulerade ledningsnätmodellen för Spillepengen uppgår till 63 ha och omfattar sex bräddavlopp.

4 Principutförning av tunnel och tillöppsanordningar

4.1 Funktionssätt och anslutningar

Avloppstunneln är tänkt att tjäna både som utjämningsmagasin och transportledning för avloppsvattnet till Sjölunda avloppsreningsverk, s k in-line storage.

Avloppsvattnet är tänkt att tillföras tunneln via självfall, i huvudsak från Turbinen, Rosendal och Spillepengen men även från pumpstationerna Carlsgatan (CPA), Frihamnsallén (FJA), Skrugatan (SVA), Kosterögatan (BKA) och Flintränegatan (FBA) i hamnområdet samt från utjämningsmagasinet i Föreningsgatan.

Beroende på val av alternativ för huvudtunneln enligt nedan avsnitt 4.2.1 kommer anslutningssätten att variera något vilket framgår av avsnitt 4.2.2 nedan.

Vid de tre stora pumpstationerna samt vid pumpstationerna Kosterögatan och Flintränegatan måste även möjlighet till reglering anordnas så att, om tunnelns kapacitet överskrids, överskottsvatten i nödfall kan bräddas till recipient. Möjligen kan befintliga anordningar vid pumpstationerna utnyttjas efter kompletteringar. Avsikten är dock att bräddning i framtiden i huvudsak skall ske vid Sjölunda avloppsreningsverk. Bräddningsanordningarna vid befintliga pumpstationer bör därför endast betraktas som nödavlopp.

Vid tunnelns slut under Sjölunda avloppsreningsverk anordnas en pumpstation för uppföring av avloppsvattnet direkt till Sjölunda avloppsreningsverks inlopp. Möjligen kan det bli aktuellt att även bygga en ny rens Galleranläggning i anslutning till pumpstationen. För detta skulle det behövas en yta av ca 2 500 m² ovan mark mellan pumpstationen och det befintliga avloppsreningsverket. I denna utredning har dock inte en sådan anläggning beaktats utan anslutning har förutsatts kunna ske till befintligt inlopp till avloppsreningsverket.

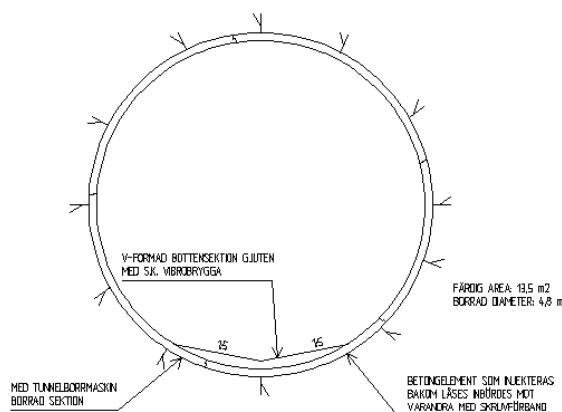
4.2 Tunnelutformning

4.2.1 Huvudtunnel

Avloppstunneln är tills vidare skisserad som en i princip cirkulär självfallsledning med en lutning i längsled på ca 1,5 - 2 ‰. Tunnelns diameter bör uppgå till 3,9 - 4,2 m. Diametern beror på val av sträckningsalternativ enligt nedan.

I kostnadsbedömningen nedan har en diameter om 4,2 m och en längd av 6,1 km använts.

Tunneln ges vid användande av fullortsborrning som drivningsmetod ett i huvudsak cirkulärt tvärsnitt. Botten bör dock göras V-formad genom eftergjutning med hjälp av s k vibrobrygga på betonginklädnaden för att förbättra självrensningsevneförmågan (figur 3).

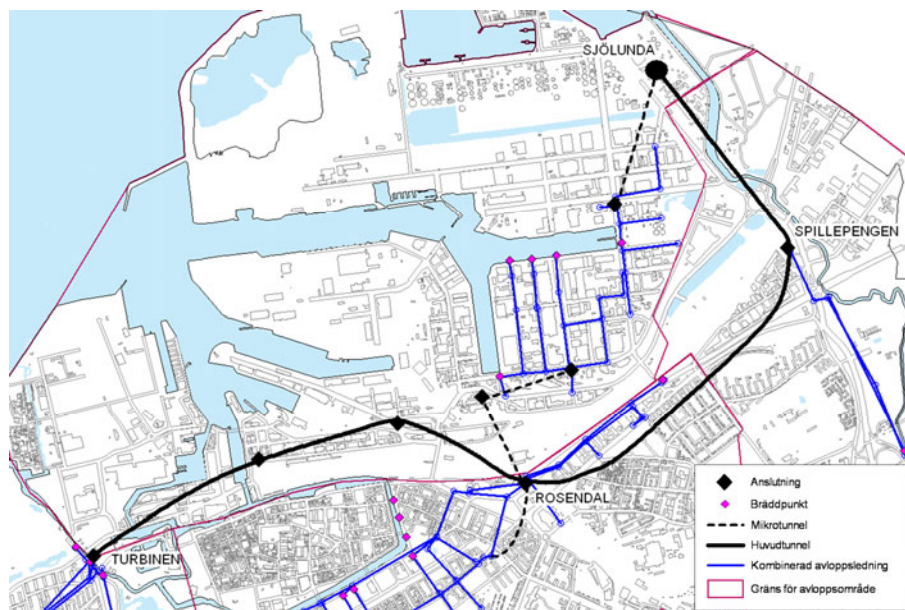


Figur 3 Principiell utformning av cirkulärt tunneltvärsnitt

4.2.1.1 Huvudtunnel alternativ 1

I detta alternativ ges huvudtunneln en sträckning från pumpstation Turbinen via pumpstationerna Carlsgatan, Frihamnsallén, Rosendal och Spillepengen till Sjölundas avloppsreningsverk, se ritningar nr R01-001 och -002. Nämda pumpstationer ansluts till huvudtunneln via vertikala schakt.

Tunnelsträckning åskådliggörs i figur 4 nedan.



Figur 4 Tunnelsträckning alternativ 1

Huvudtunneln, som även mer detaljerat redovisas i plan på ritningar nr R01-001 och 002, blir i detta fall 7,3 km lång och dess tvärsnittsarea blir 11,4 m² motsvarande en invändig diameter av 3,9 m.

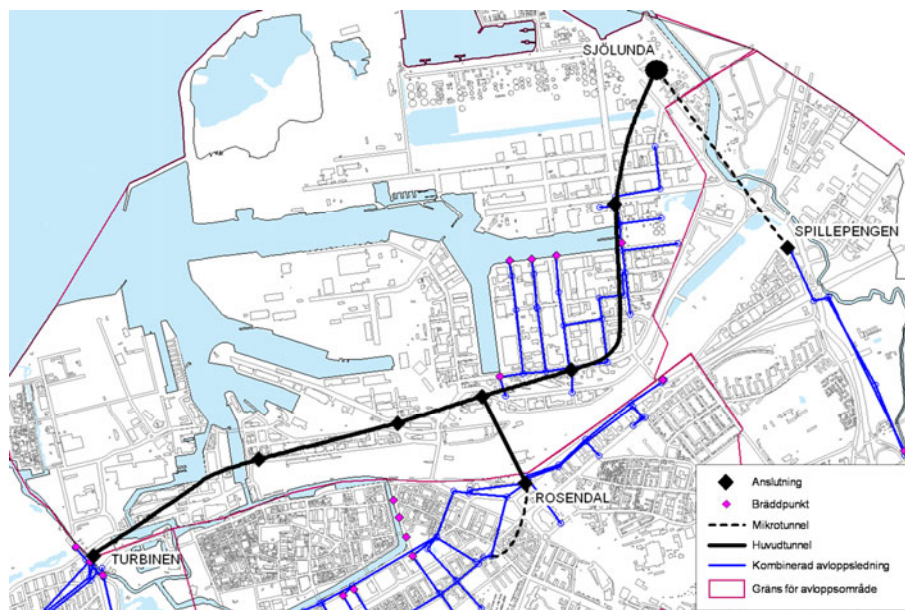
Övriga pumpstationer samt utjämningsmagasinet i Föreningsgatan och bräddavloppet vid Turbinkanalen ansluts till huvudtunneln via mikrotunnlar, se ritningar nr R01-001 och -002.

4.2.1.2 Huvudtunnel alternativ 2

Huvudtunneln enligt alternativ 2 består av två delsträckor:

1. Sträcka från pumpstation Turbinen, via pumpstationerna Carls-gatan, Frihamnsallén, Skruvgatan, Kosterögatan och Flinträ-negatan till Sjölanda avloppsreningsverk
2. Sträcka från pumpstation Rosendal till anslutning mot sträcka 1 vid Skruvgatan

Tunnelsträckningen åskådliggörs i figur 5 nedan.



Figur 5 Tunnelsträckning alternativ 2

Huvudtunneln, som även mer detaljerat redovisas i plan på ritningar nr R01-003 och -004, blir då 6,1 km lång och får en tvärsnittsarea av 13,5 m² motsvarande en invändig diameter av 4,2 m.

De pumpstationer som hamnar ovan huvudtunnelsträckningen ansluts till densamma via vertikala schakt. Övriga pumpstationer, i detta fall endast pumpstation Spillepengen, magasinet i Föreningsgatan samt bräddavloppet vid Turbinkanalens ansluts till huvudtunneln via mikrotunnlar, se ritningar R01-003 och -004.

4.2.2 Anslutningstunnlar

För anslutning av pumpstationer som inte ligger direkt ovan huvudtunneln samt för anslutning av bräddavloppet vid Turbinkanalens och magasinet i Föreningsgatan föreslås användande av mikrotunnlar. Dimension för dessa har bedömts utifrån dimensionerande flöden samt med syfte att optimera val av borrhingsutrustning.

Total längd för mikrotunnlarna beror på val av huvudtunnelalternativ. I kostnadsbedömningen nedan har en totallängd av 2,0 km samt dimension invändig diameter 1 600 mm använts.

4.2.2.1 Utjämningsmagasin Föreningsgatan

För anslutning av utjämningsmagasinet i Föreningsgatan föreslås att man bygger en mikrotunnel med invändig diameter 1 600 mm från anslutningsschaktet vid pumpstation Rosendal till en anslutning vid

magasinets utlopp i Föreningsgatan. Föreslagen plansträckning för mikrotunneln framgår av ritningar nr R01-001 och - 003. Tunneln bör ha en längslutning av minst 3,5 ‰ då den ska kunna avbörda upp till 5,0 m³/s. Anslutningsschakt i Föreningsgatan framgår av ritningar nr R11-005 och -013.

4.2.2.2 Anslutning av bräddavloppet vid Turbinkanalen

Anslutning av bräddavloppet vid Turbinkanalen förslås ske via en mikrotunnel med invändig diameter 1 600 mm från anslutningsschaktet vid pumpstation Turbinen under Turbinkanalen till en vertikalan-slutning/brunn vid det aktuella bräddavloppet. Mikrotunnelns sträckning framgår av ritningarna R01-001 respektive -003. Anslutningsschaktet framgår av ritning nr R11-001.

4.2.2.3 Anslutning av pumpstationerna Kosterögatan och Skruvgatan - huvudtunnel alternativ 1

Anslutning av pumpstationerna Kosterögatan och Skruvgatan förslås ske via en mikrotunnel från pumpstation Kosterögatan via pumpstation Skruvgatan till inloppsschaktet vid pumpstation Rosendal. Mikrotunneln ges en invändig diameter av 1 600 mm och en längslutning av minst 3,5 ‰.

Mikrotunneln bör kunna drivas från två håll mot ett anslutningsschakt i Skruvgatan. Den ena tunneln drivs från pumpstation Rosendal och den andra från pumpstation Kosterögatan. Vid dessa båda ställen finns bättre plats att ställa upp drivningsaggregat och att hantera schaktmassor från drivningen samt rörenheter.

Mikrotunnelsträckningen visas på ritning R01-001 och anslutningsschakten på ritningarna nr R11-006 och-007.

4.2.2.4 Anslutning av pumpstation Flintränegatan - huvudtunnel alternativ 1

Pumpstation Flintränegatan förslås bli ansluten till huvudtunneln via en mikrotunnel med invändig diameter 1 600 mm. Mikrotunneln drivs förslagsvis från pumpstationsschaktet vid Sjölunda mot pumpstationsläget i Flintränegatan. Mikrotunneln bör ha en minsta lutning av 3,5 ‰.

Mikrotunnelsträckningen visas på ritning R01-002 och anslutningsschaktet på ritning nr R11-009.

4.2.2.5 Anslutning av pumpstation Spillepengen - huvudtunnel alternativ 2

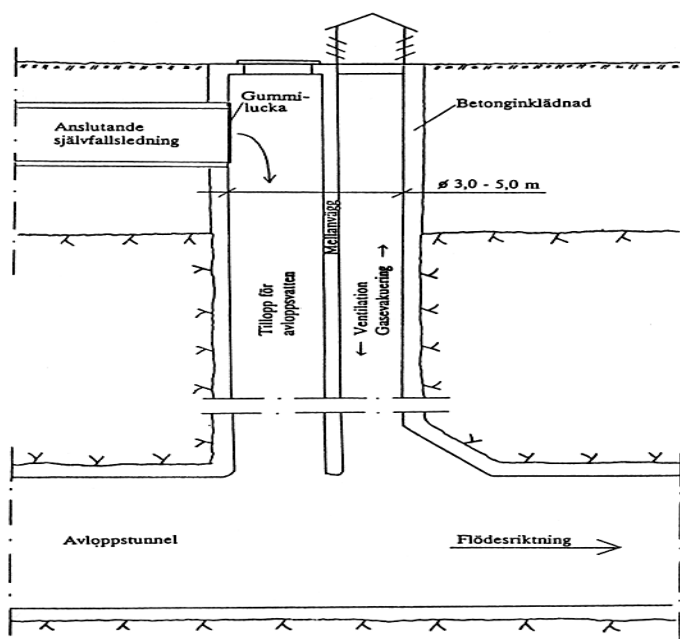
För huvudtunnel alternativ 2 behöver man ansluta Spillepengens pumpstation till pumpstationen vid Sjölunda avloppsreningsverk via en mikrotunnel med invändig diameter 1 600 mm och en längslutning av minst 0,7 ‰. Mikrotunneln drivs förslagsvis från pumpstations-schaktet vid Sjölunda mot pumpstationsläget i Spillepeng.

Mikrotunnelsträckningen visas på ritning R01-004 och anslutnings-schaktet på ritning nr R11-018.

4.3 Tillöpps- och pumpstationsschakt samt ventilation

4.3.1 Tillöpp

Intagen till tunneln kan utföras som vertikala schakt med ca 3 m diameter vid befintliga pumpstationer (figur 6). Schakten bör utrustas med regleringsanordningar, t ex reglerbar lucka, samt inklädas med betong som skydd mot inläckage och erosion.



Figur 6 Principiell utformning av inlopp till avloppstunnel

Då schakten även avses utnyttjas för ventilation bör de delas i två halvor med en mellanvägg. Den ena schakthalvan används som tillöpp för avloppsvattnet och den andra för ventilation. Vid anslutning

till tunneln bör väggen i ventilationshalvan utformas som en tratt med 45° lutning i avloppsvattnets flödesriktning för att underlätta evakuering av instängd luft.

Inloppen bör utformas med hänsyn till den rörelseenergi som erhålls vilket kan innebära att tunneln i anslutning till inloppsschaktet behöver bekläs med erosionsstabil skoning av stålplåt e d.

De vertikala schakten vid pumpstationerna kommer att utföras anpassade till det byggnadstekniska behov som föreligger lokalt. Schaktens slutliga utformning kommer dock att kunna vara som ovan skisserats men anslutning av de mindre pumpstationerna, företrädesvis Carlsgatan, Frihamnsallén och Skruvgatan, kan ske via vertikala borrhinar, s k grovhålsborrning, med klenare diameter, ca 0,8 – 1 m, än vad som nämnts ovan. Avloppsvattenanslutningen kan då göras genom en stuprörsledning ner i huvudtunneln med utkast i tunnelns flödesriktning.

Vidare vertikala schakt, med diameter av i storleksordningen 15 m, kommer man att behöva göra vid:

Turbinen, där tunnelbormaskinen ska demonteras i både huvudtunnel alternativ 1 och 2 samt mikrotunnel ska byggas under Turbinkanalen, ritning nr R11-001

Rosendal, där tunnelbormaskinen ska monteras samt in- och uttransport av material ska ske i mindre omfattning vid huvudtunnelalternativ 2 och varifrån mikrotunnel även ska drivas, ritning nr R11-012

Skruvgatan, där tunnelbormaskinen ska demonteras vid huvudtunnelalternativ 2, ritning nr R11-014.

Även där mikrotunnelborrapparat ska monteras och bormassor samt rördelar ska transporteras ut- respektive in vid sådant borrhiningsarbete, kommer behov av vidare vertikala schakt att föreligga. Här räcker det sannolikt med 6 - 8 m diameter. Dessa platser är Rosendal och Kosterögatan, se ritningar nr R11-004 och -007.

4.3.2 Pumpstationsschakt vid Sjölunda avloppsreningsverk

Pumpstation för uppföring av avloppsvattnet till Sjölunda avloppsreningsverk föreslås i tunnelns slutända vid Sjölunda. Här erfordras därför ett betydligt mer omfattande vertikalt schakt genom jordlagren

ner i berggrunden, se ritning nr R11-010. På detta ställe kommer även installationen av tunnelbormaskinen att ske och således kommer även uttransport av bormassor samt inmatning av betongelement att företas via detta schakt. Vidare sker teknisk försörjning till TBM samt tunnelventilationen under byggtiden vid detta schakt.

Vid huvudtunnel alternativ 1 kommer all mass- och materialhantering för huvudtunneln att ske här men vid huvudtunnel alternativ 2 kommer en del av denna hantering även att ske vid Rosendal.

Via schaktet ska den framtida kommunikationen ner till pumpstationen och tunneln företas. Vidare ska naturligtvis rörledningar samt ventilations- och elinstallationer göras via schaktet.

För att rymma angivna installationer och kommunikationsanordningar såsom hissar, utrymningstrappa m m bedöms schaktet behöva ha en minsta diameter av 8 m men med hänsyn till att nedsänkning och montering av tunnelbormaskinen ska ske här bör schaktet minst ha diametern 15 – 20 m.

Pumpsal samt pumpsump förslås bli utförda som berggrum vilka anläggs genom att det vertikala schaktet vidgas förslagsvis med fräsning av kalkberget samt förstärkning med platsgjuten betong och bergbultning.

Installationer för energiförsörjning, styrning och reglering samt för ventilation har förutsatts kunna ske i en byggnad som placeras ovan mark i pumpstationsläget. Denna byggnad får även tjäna som entré till tunnel och pumpstation.

4.3.3 Ventilation

För att luktbesvär skall minimeras och för att tunneln skall vara tillgänglig för eventuellt erforderliga rensningsarbeten, ventileras tunneln förslagsvis genom evakuering via ventilationsschakt vid Sjölanda avloppsreningsverk. Flätkapaciteten vid normaldrift bedöms behöva uppgå till 0,25 x tunnelvolymen per timma och vid arbeten i tunneln kunna fördubblas.

För att begränsa den luftvolym som skall ventileras utförs förslagsvis gummiluckor på inkommande ledning till respektive inloppsschakt. För att få en god styrning av ventilationsluften kan intagen förses med tilluftsfläktar.

Ventilationskanaler anordnas som ovan angivits vid inloppsschakten i anslutning till befintliga pumpstationer. Dessa kanaler kan när tunneln fylls på under kraftiga regn fungera som luftutsläpp för en del av den luft som trängs undan av en stigande vattennivå i tunneln. Detta sker endast vid kraftig nederbörd och är relativt kortvarigt.

Ytterligare ventilationsschakt kan bli aktuella längs tunnelsträckningen för att reducera transienter i tunnelflödet vid kraftiga regn. Placering av dessa bör göras med hänsyn till var stora mängder vatten tillförs tunneln.

Eventuellt kan luktreduktion erfordras vid luftutsläppen genom att ventilationsluften får passera ett barkfilter e d innan den avleds till omgivningen. Luktreduktion bedöms dock endast vara nödvändig om ventilationsschaktet får placering i närheten av bostäder eller verksamhet som är känslig för elakt lukt.

4.4 Pumpning och reglering

Genom anläggande av en avloppstunnel skulle de aktuella avloppspumpstationerna kunna tas ur drift och pumpningen kunna koncentreras till ett ställe, företrädesvis vid tunnelns slutända invid Sjölunda avloppsreningsverk. Bräddning av orenat avloppsvatten skulle med hjälp av tunnelns magasineringsförmåga kunna reduceras och större mängd avloppsvatten ledas till Sjölunda avloppsreningsverk och därmed kunna renas.

Pumpningen vid tunnelns ändpunkt i Sjölunda bör styras så att dygnsflödet in till reningsverket utjämnas i största möjliga utsträckning. På så sätt reduceras bräddningen i verket och reningsresultatet förbättras. I reningsverket behandlas idag avloppsvatten från Malmö stad och från kranskommunerna Burlöv, Lomma och Staffanstorps från vilka avloppsvattnet tillförs via en separat ledning den s k ABMA-ledningen.

För att erhålla en god driftekonomi bör pumparna belastas så jämnt som möjligt och med ett så lågt maximivärde som möjligt. För att detta skall kunna åstadkommas utnyttjas lämpligen en del av magasinet för dygnsutjämning och resterande del för utjämning av dagvatten. Tunneln bör dock tömmas en gång per dygn så att rensning sker.

Sjölunda avloppsreningsverk förmår att fullständigt behandla 4,4 m³/s varav 0,9 m³/s tillförs via ABMA-ledningen. Vid större flöden bräddas

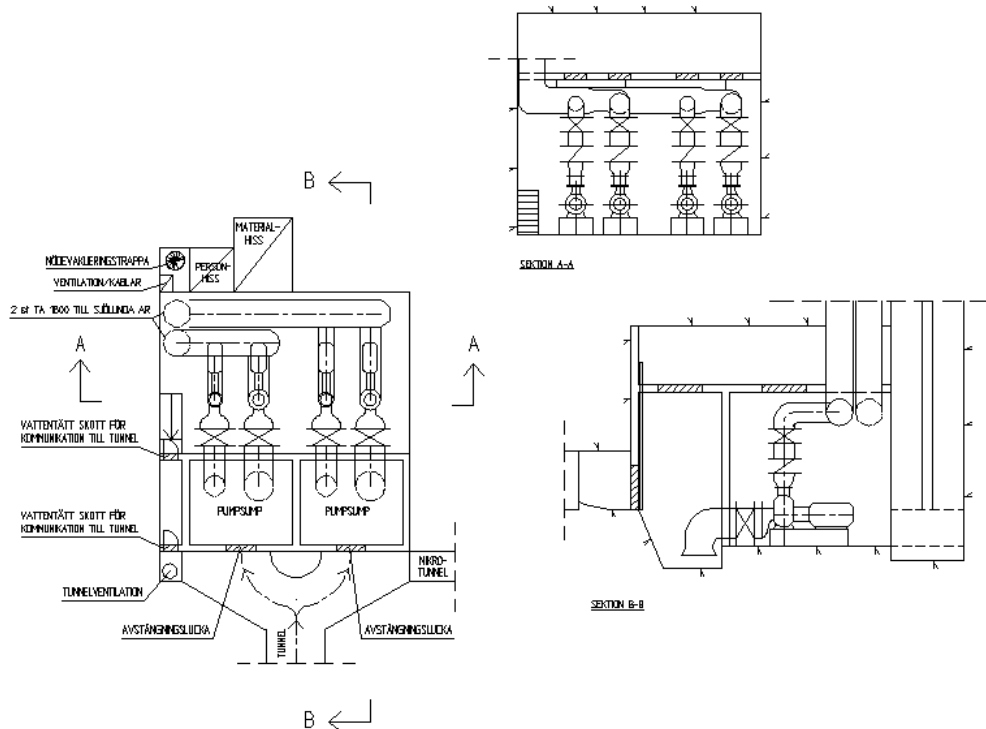
överskottsvattnet efter försedimenteringen, d v s före det biologiska steget. Upp till 7,5 m³/s kan dock behandlas mekaniskt.

Pumpstationen bör sålunda dimensioneras för att kunna pumpa 3,5 m³/s (Q_{dim}) men med dubbel säkerhet, d v s total pumpkapacitet 7,0 m³/s ($2 \cdot Q_{dim}$).

4.4.1 Förslag till pumpsystem

Pumpstationen utrustas förslagsvis med fyra stycken pumpar. Två av pumparna får därvid vardera svara för 1/3 av det dimensionerande pumpflödet $Q_{dim} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. De andra två pumparna föreslås vardera ha kapaciteten $2/3 Q_{dim}$. Sammantaget får då pumpstationen kapaciteten $2 Q_{dim}$.

Pumparna bör vara torrappställda och anslutas parvis till två tryckledningar som leder upp till avloppsreningsverket (figur 7).



Figur 7 Principiell utformning av pumpstation vid Sjölanda avloppsreningsverk

Tryckledningarna bör ledas till en inloppskammare på avloppsreningsverket där de får mynna tillräckligt högt, d v s på nivå ovan ca +4 m, för att kompensera för tryckfallet genom verket.

Rensgaller bör inte anordnas i pumpstationen utan dessa bör placeras ovan mark i anslutning till pumpstationen eller i reningsverket. Eventuellt kan befintlig anläggning i reningsverket användas men då inloppsdelen och rensgallren enligt driftansvarig personal idag utgör en trång sektor och det är platsbrist inom reningsverkstomten kan byggande av en ny inlopps- och rensgalleranläggning i anslutning till pumpstationen vara att föredra.

4.4.2 Styrning och reglering

En av de mindre pumparna bör vara varvtalsreglerad och svara för torrvädersflödet. Eventuellt kan varvtalsregleringsutrustningen utföras så att båda de mindre pumparna var för sig kan väljas vara varvtalsreglerad. Ett sådant val medger ett jämnare slitage av pumparna.

Pumparna får träda in stegvis då tunneln riskerar att bli fylld. Med utnyttjande av föreslagen total pumpkapacitet och tunnelvolym kommer bräddning att i huvudsak ske vid Sjölunda avloppsreningsverk och då först efter mekanisk rening. Vid beräkningar av tunnelsystemet framgår de att nödbräddning vid pumpstationerna på grund av uppdämd tunnel kommer att ske med längre återkomsttid än 50 år.

Pumpstyrningen bör ske via vattennivån i avloppstunneln samt med avseende på belastningen i Sjölunda avloppsreningsverk. Styrningskomplettering för tömning av tunneln inför befarat regn bör även finnas och kan tänkas ske med utnyttjande av information från väderradar. Då det föreligger risk att bräddning kommer att ske till innerkanalen bör den nya pumpstationen pumpa maximalt flöde in till reningsverket.

4.4.3 Energiförsörjning

Energi för drift av pumpanläggningen bör kunna hämtas från det befintliga elnätet. Sannolikt bör matning ske med högspänning och särskild kabel för detta ändamål läggas från lämplig anslutningspunkt. Effektbehov för pumparna uppgår till totalt ca 3,3 MW då de går alla samtidigt. Så stor effekt kan man inte klara att ansluta till befintlig servisanslutning för Sjölunda avloppsreningsverk utan pumpstationen behöver få en egen servis.

Energiförsörjning kan erhållas från befintligt elnät men det erfordras enligt distributören anläggande av en ny ca 1,7 km lång matningskabel för 10 kV.

Ett alternativ kan vara att utnyttja befintlig matning till Sjölunda avloppsreningsverk värmepumpar vilken anläggning eventuellt kommer att läggas ner.

Pumpstationen bör även vara försedd med reservkraftaggregat med kapacitet att upprätthålla driften för samtliga pumpar.

Erforderligt ställverk, reservkraftanläggning m m bör anläggas i direkt anslutning till pumpstationen.

Det bör även undersökas om man kan tillföra förnyelsebar energi genom anläggande av ett par lokala vindkraftverk vid Sjölunda avloppsreningsverk. Om så kan ske bör man överväga att samordna detta med en gemensam elservis för pumpstation och avloppsreningsverk så att även det sistnämnda kan dra nytta av den förnyelsebara energikällan vid torrvädersförhållanden. Markbehov och tillgång till mark för eventuella vindkraftverk har inte behandlats i denna utredning utan får utredas separat.

4.5 Rensning

Avloppstunnlar med en lutning och utformning som här föreslås är vanligt förekommande och har visat sig fungera utmärkt. Något egentligt rensningsarbete förekommer knappast. Det utspädda vatten som kommer vid regntillfällen och som ger uppdämning i tunneln bedöms inte skapa några rensningsproblem.

Vid dygnsutjämning av enbart spillvatten kan dock en viss avsättning av slam förväntas som periodvis kan kräva rensningsåtgärder. Normalt klaras detta dock genom att tunneln ges sådan lutning att gränsen för att tunneln ska vara självrensande överskrids vid minst ett tillfälle per dygn, se nedan avsnitt 5.2.2.

Flytande föremål kan komma att orsaka ett visst behov av rensning men då sannolikt kanaliserat till pumpstationens pumpsump.

För aktuell tunnel kan man räkna med ett torrvädersflöde som dagligen når upp till ca 0,5 m³/s (torrvädersinflöde till pumpstation Turbinen i tunnelns uppströmsända, se avsnitt 5.2). För att säkra själv-

rensning i tunneln bör den därför ha en lutning i längsled som uppgår till värden angivna under rubrik 5.2.2 nedan.

4.6 Skydd mot svavelväte

I tunnlar av aktuell karaktär måste man beakta att svavelväte bildas vid anaeroba förhållanden genom mikrobiologisk aktivitet i avloppsvattnet. Svavelvätet avgår från avloppsvattnet vid turbulenta förhållanden såsom t ex där tryckledning övergår till självfallsledning eller det på annat sätt uppstår turbulens eller trycksänkning. Det fria svavelvätet reagerar med luftsytret i den icke vattenfyllda delen av rör- eller tunnelsektionen och bildar svavelsyra som angriper rör- eller tunnelväggen ovan vätskeytan.

Svavelväte har enligt driftpersonalen inte observerats i avloppsvattnet vid berörda befintliga pumpstationer där anslutning till tunneln avses ske. Det kan dock inte uteslutas att svavelväte uppstår i avloppsvattnet varför man bör beakta detta utförande av tunneln.

Skydd av konstruktionen mot denna typ av korrosion kan ske genom att man t ex utför betongbeklädnad och alla övriga betonggjutningar i anläggningen av sulfatresistent cement. Vid risk för kraftiga angrepp kan man överväga att förse all betong som riskerar att bli utsatt för svavelsyrekorrosion med en skyddande lining av t ex epoxi, polyesterharts eller dylikt. Ett annat sätt att komma tillrätta med svavelväte är att driva svavelvätet genom t ex luftning och ventilation av avloppsvattnet vid anslutningspunkter där man befarar problem innan avloppsvattnet släpps ner i tunneln.

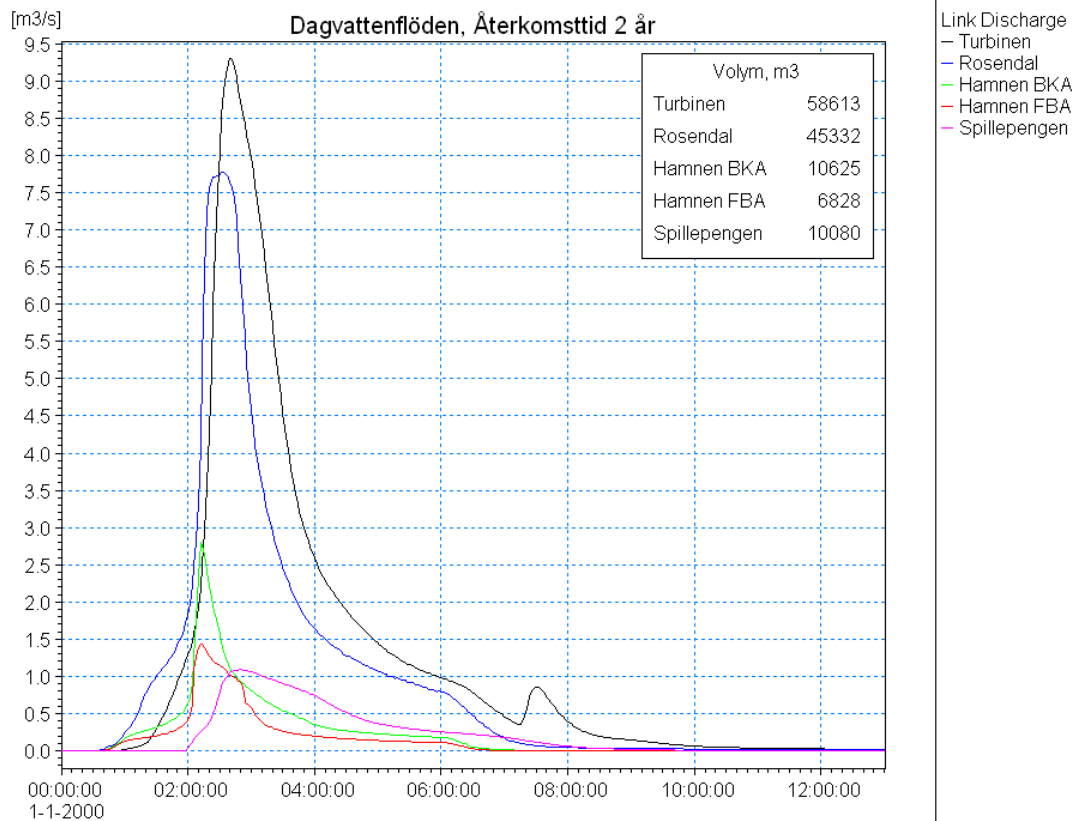
I den kalkyl för anläggning av tunneln som gjorts i denna utredning har man endast räknat med att använda sulfatresistent betong i anläggningen.

5 Hydrauliska förutsättningar

5.1 Regnvädersförhållanden

5.1.1 Inkommande avloppsvattenflöde

Belastningen på pumpstationer och reningsverk ökar dramatiskt vid regnväder. För att kunna bedöma den ökade hydrauliska belastningen vid dessa tillfällen har VA SYD tagit fram flödeskurvor för olika typregn vid de aktuella pumpstationerna (figur 8 och bilaga 1)



Figur 8 Exempel på beräknad tillrinning till pumpstationerna vid Turbinen, Rosendal, Spillepeng, Kosterögatan BKA och Flintrännegatan FBA under ett maximiregn med 2 års återkomsttid och 6 timmars varaktighet

De i bilaga 1 redovisade inloppshydrograferna återger den datorsimulerade tillrinningens storlek och förlopp vid maximiregn med 2, 5 och 10 års återkomsttid samt med 6 timmars varaktighet.

Utöver tillrinning enligt ovannämnda inloppshydrografer samt från de mindre pumpstationerna i hamnen får Sjölunda avloppsreningsverk ta emot max ca 0,9 m³/s från grannkommunerna via den sk ABMA-ledningen.

5.1.2 Dimensionerande situation

I samråd med VA SYD har beslutats att en bräddningsfrekvens av en gång vartannat år bör vara dimensionerande för beräkning av tunnelns magasinsvolym. Bräddningen ska då i första hand lokaliseras till Sjölunda avloppsreningsverk och sålunda får inte behandlingskapaciteten 4,4 m³/s vid verket överskridas mer än en gång vartannat år. Med hänsyn till tillrinningen till avloppsreningsverket via ABMA-ledningen (0,9 m³/s) skulle sålunda en kontinuerlig tillförsel av 3,5 m³/s från avloppstunneln kunna tillåtas utan att reningsverkets kapacitet för fullständig behandling överskrids.

Arbetsgruppen har valt att dimensionera tunneln för nederbörd med två års återkomsttid. Baserat på flödesuppgifter för de aktuella pumpstationerna och med valda pumpdata för uppfordring till Sjölunda avloppsreningsverk, dvs kontinuerlig pumpning med 3,5 m³/s, kan då konstateras att regn med två års återkomsttid och sex timmars varaktighet blir dimensionerande för magasinsvolymen. Tunnelns magasinsvolym har på så sätt översiktligt beräknats till cirka 83 000 m³. Vid en tunnellängd av 6,1 km skulle detta innebära en erforderlig tvärsnittsarea av ca 13,5 m².

Det bör observeras att den genomförda hydrauliska beräkningen är översiktlig. En noggrannare beräkning baserad på verkliga uppmätta regnserier måste genomföras vid projekteringen. Därvid kan bl a hänsyn tas till kvarvarande vattenvolym i tunneln vid påföljande regn och sålunda en säkrare dimensionering erhållas.

5.1.3 Reduktion av bräddning till känsliga recipienter

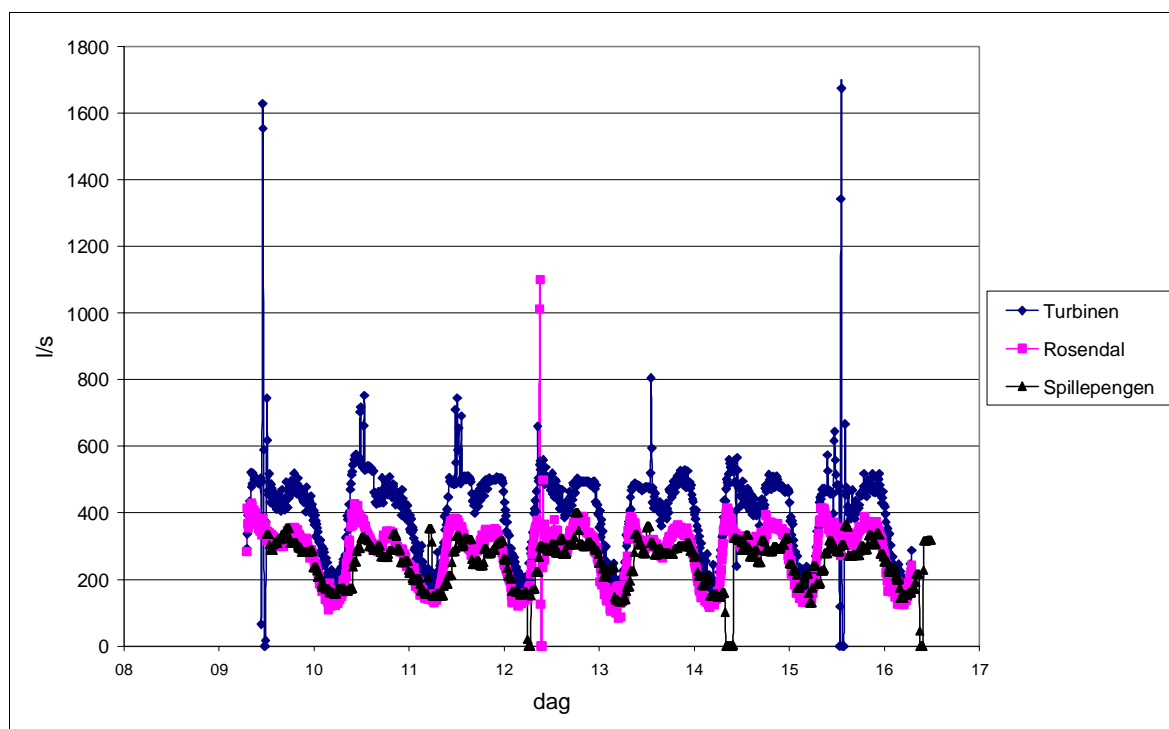
Genom anläggning av en avloppstunnel enligt ovan kommer som nämnt antalet bräddningar avloppsvatten till omgivningen att minska betydligt, bräddad volym kommer att minska med ca 75 %, vilket är en stor miljövinst. I bilaga 3 har åskådliggjorts hur bräddningen av avloppsvatten till de känsliga recipienterna Malmö inre kanaler och

Risebergabäcken/Sege å samt till Östra hamnen förändras om tunneln kommer till stånd.

5.2 Torrvädersförhållanden

5.2.1 Inkommande avloppsvattenflöde

Avloppsvattnet som behandlas i Sjölunda avloppsreningsverk tillförs verket via pumpstationerna vid Turbinen, Rosendal och Spillepengen samt de mindre pumpstationerna i hamnområdet. Vidare avleds avloppsvatten från Malmö hamnområde till verket samt en del av avloppsvattnet från grannkommunerna Lomma och Staffanstorp som tillförs verket genom den s k ABMA-ledningen.



Figur 9 Torrvädersflöden

Torrväderstillrinningen d v s spillvattenflödet till Sjölunda avloppsreningsverk från de aktuella pumpstationerna varierar mellan ca 0,5 m³/s och ca 2,0 m³/s mätt som medelvärde under dygnet, se figur 9 ovan. Till verket leds även avloppsvatten från grannkommunerna via den s k ABMA-ledningen, se ovan.

5.2.2 Kontroll av självrensning

För att en avloppstunnel för spillvatten ska vara självrensande bör skjuvspänningen mellan det rinnande avloppsvattnet och tunnelns mantelyta vara större än $2,0 \text{ N/m}^2$. Detta förhållande ska uppnås åtminstone en gång under dygn med låg spillvattentillrinning s k mindygnnsflöde.

5.2.2.1 Sträckan Turbinen till Rosendal - huvudtunnel alternativ 1 respektive Turbinen till Skruvgatan - huvudtunnel alternativ 2

Inflödet till tunneln vid Turbinen är under mindygnet i medeltal 180 l/s. Om tunneln på den aktuella sträckan ges en längslutning av 2,0 ‰ uppfylls villkoret för självrensning.

5.2.2.2 Sträckan Rosendal till Spillepengen - huvudtunnel alternativ 1 respektive Skruvgatan till Sjölunda – huvudtunnel alternativ 2

Flödet under mindygnet är på denna sträcka i medeltal ca 300 l/s vilket innebär att villkoret för självrensning uppnås om tunneln ges en längslutning av 1,6 ‰.

5.2.2.3 Sträckan Rosendal till Skruvgatan – huvudtunnel alternativ 2

Flödet under mindygnet är på denna sträcka i medeltal ca 120 l/s vilket innebär att villkoret för självrensning uppnås om tunneln ges en längslutning av 2,5 ‰.

5.2.2.4 Sträckan Spillepengen till Sjölunda – huvudtunnel alternativ 1

På denna sträcka kommer flödet under mindygnet i medeltal att uppgå till ca 500 l/s. Villkoret för självrensning uppnås då om tunneln får en längslutning av 1,3 ‰.

5.2.2.5 Anslutningstunnlar (mikrotunnlar)

Mikrotunnlarna föreslås alla få en invändig diameter av 1 600 mm.

Största flöde som belastar en mikrotunnel är $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ vilket är dimensionerande flöde på sträckan mellan magasinet i Föreningsgatan och Rosendal. Den tunneln har därför föreslagits få längslutning 3,5 ‰ varför den uppfyller självrensningsvillkoret vid ett flöde av 10 l/s. Detta flöde överträffas vid mindygnnsförhållanden.

För tunneln mellan Kosterögatan - Rosendal föreslås samma lutning. Här är visserligen maxflödet något mindre, $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ men spillvattentillrinningen kan under mindygn vara ringa varför lutningen valts med

hänsyn till att självrensning uppnås vid ett flöde av 10 l/s. Detta flöde uppnås under mindygn.

För tunneln mellan bräddavloppet vid Turbinkanalen och Turbinen föreslås minst 5 ‰ lutning för att tunneln ska kunna avbörda ett flöde motsvarande en nederbördssituation med 2 års statistisk återkomsttid, se bilaga 1.

Tunneln mellan pumpstation Flintränegatan och Sjölunda har ett dimensionerande flöde av 1,8 m³/s vilket innebär att den bör en minsta lutning av 0,5 ‰. Av självrensningsskäl bör dock inte tunneln läggas i mindre lutning än 3,5 ‰ med tanke på den låga spillvattenbelastningen.

Anslutningstunneln från Spillepengens pumpstation till Sjölunda vid huvudtunnel alternativ 2 har ett dimensionerande flöde av 1,4 m³/s och skulle således behöva ges en lutning av 0,3 ‰. Mindygnflödet är i tunneln 150 l/s vilket innebär att lutning bör vara minst 0,7 ‰ för att självrensning ska upprätthållas i tunneln.

5.3 Tömning av tunneln

Tömning av tunneln bör ske en gång per dygn samt i samband med förestående regn.

Tömning bör i första hand ske genom pumpning med det flöde som avloppsreningsverket förmår behandla fullt ut efter att hänsyn tagits till tillrinningen från ABMA-ledningen, d v s normalt 3,5 m³/s.

Vid extremsituation då bräddning kan befaras uppstå vid de befintliga pumpstationslägena eller från magasinet i Föreningsgatan får pumpningen ökas till maxflöde 7,0 m³/s. Avloppsvattnet bräddas då vid Sjölunda avloppsreningsverk efter mekanisk rening och till Öresund i stället för vid de mer känsliga bräddningställena

5.4 Hydrauliska och vattenkemiska risker

5.4.1 Hydrauliska risker

Hydrauliska risker utgörs primärt av:

1. Variationen på tillflödet till tunneln
2. Framtida klimatförändring och dess påverkan på nederbördsförhållandena

Den förstnämnda faktorn har man genom de mätningar som kontinuerligt sker i anslutning till de tre stora pumpstationerna rimligt god kontroll på. Genom att analysera mätvärdena med avseende på bl a aktuell nederbörd, som ju även mäts, kan man med god säkerhet beräkna hur stort tillflödet kan bli vid extrema regntillfällen. Detta gäller naturligtvis för nuvarande förhållanden. Framtida situation är emellertid kopplad till faktor 2 enligt ovan.

Påverkan av en framtida klimatförändring på nederbördsförhållandena är svårare att sätta om. Scenarier för klimatförändringen finns diskuterade bl a i den sk "Sårbarhetsutredningen". Att man kan förvänta sig förändring av klimatet mot en högre årsmedeltemperatur är nog de flesta överens om men hur stor den blir är bara gissningar. En högre årsmedeltemperatur kommer även resultera i mer intensiva regn. Forskningen är dock ännu ganska begränsad vad gäller detta. Huruvida vald tunnelvolym i framtiden kommer att motsvara en statistisk tvåårssituation eller inte är därför svårt att uttala sig om.

5.4.2 Vattenkemiska risker

Vattenkemiska risker är i första hand faktorer som kan påverka konstruktionens livslängd. Här är korrosion den stora boven. Det är då både korrosion på insidan och på utsidan av tunneln. De viktigaste vattenkemiska riskerna är därför:

1. Förekomst av svavelväte i avloppsvattnet
2. Grundvattnets korrosionsbenägenhet, t ex pH-värde och innehåll av klorid och sulfat

Normalt kommer inte innehållet av svavelväte vara särskilt stor i avloppsvattnet som tillförs tunneln eftersom tillflödet i all huvudsak sker i väl ventilerade självfallsledningar. Svavelväteproblem har enligt driftpersonalen inte observerats i de aktuella pumpstationerna. Detta bör dock verifieras genom att man gör mätningar vid åtminstone de tre stora pumpstationerna.

Provtagning på grundvattnet har man genomfört med stor noggrannhet vid byggande av Citytunneln varför erfarenheter kan hämtas därifrån. Någon ytterligare analys lär därför inte vara aktuell. Se även nedan avsnitt 6.2.3.

6 Grundförutsättningar

6.1 Geologiska förutsättningar

6.1.1 Översikt

På kartan i bilaga 8 redovisas översiktligt de geologiska förhållandena i norra delen av Malmö tillsammans med planerade tunnelsträckningar för alternativ 1 och 2.

De geologiska lagren på kartan utgörs av Malmö GeoAtlas konceptuella geologiska modell med följande lagerenheter i ordning uppifrån och ned:

- A. Fyllning – Huvudsakligen schaktmassor samt i viss mån olika tekniska produkter eller avfall
- B. Torv – Huvudsakligen postglacial gyttja och kärrtorv
- C. Övre sediment – Huvudsakligen postglacial silt och sand
- D. Övre morän – Huvudsakligen moränliknande leriga och siltiga glaciala avlagringar med växlande inslag av sand och grus
- E. Undre sediment – Huvudsakligen glacifluvial sand och grus
- F. Undre Morän – Huvudsakligen glaciala siltiga och leriga moräner
- G. Berggrund – Berggrundens övre delar består i huvudsak av tertiära och kretaceiska kalkstenar vilka i översiktliga sammanhang betecknas med bokstaven G. Berggrunden har underindelats i följande fyra enheter i ordning uppifrån och ned. Inom parentes anges den motsvarande litostratigrafiska indelningen enligt Erlström 1994:
 - G1. Grönsand (Lellinge Grönsand)
 - G2. Köpenhamnskalksten (Köpenhamnsledet)
 - G3. Bryozokalksten (Limhamnsledet)
 - G4. Skrivkrita (Krusebergsledet)

Inom aktuellt område saknas sannolikt lager G1. Längs tunnelsträckningen bedöms kalkbergets övre del bestå av lager G2 (Köpenhamnskalksten) varunder följer lager G3 (Bryozokalksten). Mäktigheterna är dock inte kända i detalj, men teoretiskt bör G2 vara mellan 5 -15 m och G3 vara 40-60 m mäktig.

6.1.2 Jordlager

Området som berörs av de planerade tunnelsträckningarna består i huvudsak av utfylld mark med en plan terrängform. Marknivån ligger normalt inom intervallet 2-6 m. Där tunnlarna passerar kanal- och hamnområden är dock jordlagrens mäktighet begränsad. I dessa om-

råden kan kalkberget lokalt vara blottat och bilda kanal- respektive havsbotten.

Jordlagren består överst av *fyllnadsmassor (Lager A)*. Dessa har varierande sammansättning men domineras av lermorän. Mäktigheten är normalt 3-5 m. Huvuddelen av Tunnelalternativ 1 och hela sträckningen av Tunnelalternativ 2 ligger inom ett område som utgörs av utfylld havsbotten, se bilaga 8.

Under fyllnadsmassorna förekommer ett relativt sammanhängande lager med sentida *havssediment (Lager B och C)* som oftast består av lera, silt och finsand med inslag av organiskt material i form av gyttja, torv eller dy. Dessa sediment fyller i princip ut svackor i havsbotten och kan vara uppemot 2 m mäktiga.

Under havssedimenten finns huvudsakligen *lermorän (Lager D och F)* från senaste istiden. Lermoränen bildar normalt ett heltäckande lager som vid Malmö C har en mäktighet av 3-4 m, men som bedöms öka i tjocklek mot Sjölunda. Mäktigheten här bedöms vara ca 10 m.

Glacifluviala grovsediment (Lager E) förekommer främst vid Kirseberg där de bildar ett större sammanhängande lager med utbredning från markytan. Glaciala grovsediment kan även förekomma lokalt och fläckvis som intermoräna avlagringar.

6.1.3 Berggrund

Berggrunden består uteslutande av kalksten tillhörande tidig Tertiär (paleogen) ålder. På nivån ca -90 m vidtar en annan kalkstensformation, s k skrivkrita, vilken tillhör den kretaceiska tidsepoken.

Bergnivån ligger på ca – 5 m vid Malmö C, men bedöms sluta svagt i riktning mot Sjölunda för att där ligga på nivån ca – 12 till – 15 m.

Den berggrund som direkt kommer att beröras av tunnelbyggnationen utgörs av Köpenhamnskalksten och Bryozokalksten.

Köpenhamnskalkstenen bedöms utgöra ytberggrund för båda tunnelsträckningsalternativen. I Malmö C-området har den en mäktighet av 2-8 m. Mycket talar för att den ökar i mäktighet mot Sjölundahället och där har en tjocklek av uppskattningsvis ca 15 m. Mäktigheten minskar och Köpenhamnskalkstenen upphör i riktning mot Slottsparken.

Köpenhamnskalkstenen är uppbyggd av upp till ca 0,5 m mäktiga dellager som är horisontellt lagrade. De ingående kalkfragmenten har en kornstorlek som oftast underskrider sandfraktion (0,06 mm). Skalfragmenten är normalt sammanfogade med kalk men på sina ställen har kiselsyra anrikats och gett upphov till en hård förkislad kalksten.

Förutom kalksten innehåller enheten uthålliga lager eller bankar av flinta. Dessa lager är oftast flera decimetrar mäktiga och omgärdas ibland av lös lermärgel. Flinthalten bedöms uppgå till ca 20 % i Malmö C-området och förväntas vara likvärdig i hela det aktuella området.

De övre metrarna av kalkstenen är generellt kraftigt uppspruckna, sannolikt genom avlastning i samband med erosion av överlagrande bergarter samt isavsmältning och frostsprängning. Även inverkan från kemiska vittringsprocesser har visat sig förekomma i de översta ca 2-3 m av Köpenhamnskalkstenen, vilket bidragit till bildandet av öppna sprickor och mindre kanaler i berggrunden.

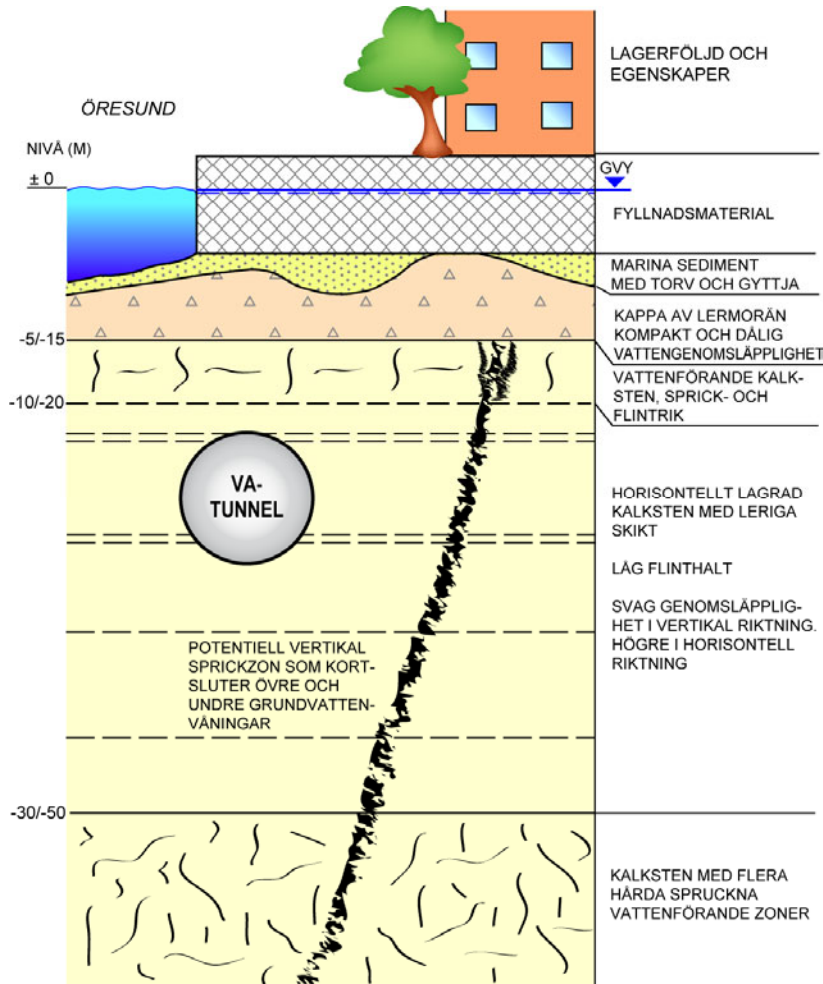
Bryozokalkstenen skiljer sig från Köpenhamnkalkstenen genom att dellagren är betydligt tunnare (typiskt 5-10 cm) och att lagringsstrukturen är diffusare. Vidare är flinthalten betydligt lägre (2-3 %) och flintan ligger oftast som tunna lins- eller knöformade enskilda bildningar.

Bryozokalkstenen är anrikad på bryozorester vilka i sin tur härstammar från nederoderade revbildningar. Begynnande stadier på dessa rev kan förekomma i form av revkalksten in situ.

Bryozoresterna har i samband med omlagring sedimenterat tillsammans med bottenfällda mikroorganismer och vid vissa tillfällen lerhaltigt slam. Leran förekommer vanligtvis som mm-tunna skikt. I övergångszonen mellan Köpenhamnkalksten och Bryozokalksten har dock två stycken upp till dm-tjocka lerlager påträffats inom Malmö C-området. Dessa utgör viktiga stratigrafiska ledhorisonter och förväntas finnas också mot Sjölundahållet. Den övre av dessa uthålliga lerlager anses utgöra gränsen mellan Köpenhamnkalksten och Bryozokalksten

I Malmö C-området kännetecknas Bryozokalkstenen av en hög densitet och en låg porositet. Den har därför en låg vattengenomsläpplighet. På nivån ca -30 till -35 m övergår formationen emellertid till att ha en lägre densitet och högre porositet, vilket gör kalkstenen mer vattengenomsläpplig. Mäktigheten på denna zon, som även innehåller en högre sprickfrekvens, är i storleksordningen 10-15 m. Härunder

återkommer en mer lågporös kalkstenstyp, likvärdig med den som underlagrar Köpenhamnskalkstenen. Ytterligare minst en porös zon förekommer på större djup, i Kranenområdet på nivån ca -60 m, se vidare figur 10.



Figur 10 Principiell lagerföljd i området samt de geologiska lagrens egenskaper

Såväl Köpenhamn- som Bryozokalkstenen är fast lagrad och är tillräckligt konsoliderad för att exempelvis borrhål skall ha stabila väggar. Den övre sprickiga delen av Köpenhamnkalkstenen kan dock vara instabil. Kalkstenens hårdhet varierar markant både i djup- och sidled, där flinta och förkislad kalksten har den högsta hårdheten och lera/lermargel den lägsta.

I området kan vertikala starkt vattenförande *sprickzoner* förekomma. Indikationer på sådana har hittats på ett flertal platser i norra centrala delen av Malmö. De har dock inte med säkerhet kunnat påvisas vid de borrhningar som gjorts för Citytunneln. Potentiellt måste man dock räkna med att sprickzoner kan påträffas i samband med tunnelborrning och schaktning. Dessa kortsluter i så fall olika vattenförande våningar i kalkstenen.

6.2 Hydrogeologiska förhållanden

6.2.1 Grundvatten i jordlagren

Jordlagren bildar en egen grundvattenvåning, som står i kontakt med atmosfären. Grundvattenytan varierar med årstiderna och är som högst vid nederbördsrika tillfällen under hösten eller vid snösmältning under våren. Nivån bestäms lokalt också av jordlagrens kontakt med kanalerna och hamnbassängen.

Mätningar av grundvattennivåerna i Malmö C-området visar på en normalnivå, som ligger någon eller ett par decimeter över Öresunds medelvattennivå och att variationen normalt ligger inom +/- 0,3 m.

De hydrauliska egenskaperna i jordlagren är erfarenhetsmässigt bedömda. För lermoränen uppskattas den hydrauliska konduktiviteten till $10^{-7} - 10^{-8}$ m/s.

Konduktiviteten i ovanför liggande marina sediment och fyllnadsmassor bedöms ligga i intervallet $10^{-4} - 10^{-6}$ m/s, med det högre värdet gällande för marin sand.

6.2.2 Grundvatten i berggrunden

Kalkbergets grundvatten utgör ett sk slutet grundvattenmagasin där jordlagren främst i form av lermorän utgör den övre tätande formationen och kritkalkstenen på nivån ca -90 m den undre tätande formationen.

Vattenföringen varierar markant i Köpenhamn- och Bryozokalkstenen, vilket föranlett att kalkstenen zonindelats vad avser de vattenförande egenskaperna. Två vattenförande zoner har definierats, zon I och zon III.

Den övre vattenförande zonen, zon I, kännetecknas av hög sprickighet och har hydrauliska konduktivitetensvärden, som normalt ligger i

intervallet 10^{-2} till 10^{-3} m/s i Malmö C-området. Mäktigheten varierar mellan 3 och 8 m i området med ett medelvärde som är ca 5 m.

Den undre vattenförande zonen, zon III, kännetecknas av en vattenföring som dels är knuten till sprickighet men också till en hög porositet. Zonens mäktighet är generellt 10-15 m och den hydrauliska konduktiviteten ligger i intervallet 5×10^{-3} till 10^{-4} m/s.

Mellan dessa båda vattenförande våningar finns en ca 20 m mäktig mindre vattenförande kalkstensenhets, zon II. Den horisontella hydrauliska konduktiviteten i denna ligger normalt i intervallet 10^{-5} till 10^{-6} m/s, medan den vertikala bedöms vara en femtedel till en tiondel därav.

6.2.3 Kalkbergets magasinsegenskaper

Kalkbergets hydrauliska egenskaper beräknade på ett antal provpumpningar och kapacitetstester i Malmö C-området har sammanställts i tabell 1.

Transmissivitet ($m^2/s \times 10^{-4}$)		Magasinskoefficient ($\times 10^{-4}$)		Läckagekoefficient ($s^{-1} \times 10^{-8}$)	
Max	Min	Max	Min	Max	Min
500	20	130	1	100	1

Tabell 1 *Utvärderade hydrauliska parametrar för kalkberget i Malmö C-området*

Transmissiviteten, som beskriver den sammantagna vattengenomsläppligheten för hela kalkstensformationen, varierar huvudsakligen beroende på variationer i zon I.

Magasinskoefficienten, som beskriver magasinets vattenavgivande förmåga i relation till trycksänkning, bedöms variera genom en mer eller mindre stor inverkan av Öresund. Detsamma gäller läckagekoefficienten, som beskriver förutsättningen för vattenläckage i vertikal riktning.

Borrningar vid Suellskanalen samt dykningar i hamnen visar att luckor i lermoräntäcket förekommer fläckvis, vilket skapar en direkt hydrau-

lisk kontakt mellan ytvattnet och kalkbergets grundvatten. Hamnen och Öresund utgör därmed en positiv hydraulisk gräns för kalkstens grundvattenmagasin.

6.2.4 Trycknivåer i kalkberget

Genom att en viss hydraulisk kontakt finns med Öresund och hamnbassängerna styrs trycknivåerna i kalkberget i kustnära områden helt av nivåvariationerna i Öresund.

Trycknivån i den undre vattenförande våningen, zon III, ligger dock något under trycknivån i den övre, zon I. Troligen beror detta på att salthalten i zon III är högre.

En viss nybildning av grundvatten till kalkstens grundvattenmagasin gör att medeltrycknivån i kalkberget kan förväntas vara någon decimeter högre än motsvarande medelvattennivå i Öresund.

Värt att notera i sammanhanget är att trycknivån i området kring Slottsparken-Kungsparken sedan mer än 10 år tillbaka ligger under nivån +/- 0 m, vilket betyder att det här förekommer aktiv pumpning av grundvatten. Vad som orsakar denna avsänkning är inte klarlagt.

6.2.5 Grundvattnets beskaffenhet

Jordlagren innehåller sött vatten i den övre delen av den vattenmätade zonen. Mot djupet ökar halten av lösta salter. Närmst kanalerna och hamnbassängerna har även det ytliga grundvattnet en förhöjd salthalt.

Grundvattnet i kalkberget är genomgående bräckt. Salthalten ligger vanligen mellan 0,5 och 1,5 % där de högre värdena påträffas i de djupare kalkstenslagren.

Vattnet har en reducerad karaktär med kväve i ammoniumform och en del av svavlet i form av svavelväte. Huvudparten av svavlet finns dock i form av sulfat.

Förutom den höga salthalten, innehåller vattnet också stora mängder karbonater i löst form, vilket gör vattnet mycket hårt (oftast 100-200 dH°). Vidare finns både järn och mangan i löst form men oftast med måttliga halter (järn 0,5-1,0 mg/l).

Karbonatbuffringen gör vattnet svagt alkaliskt med pH-värden som vanligen ligger mellan 7,5 och 8,0.

Temperaturen på grundvattnet i kalkberget är tämligen konstant runt 10°C året runt.

6.3 Geologiska risker

6.3.1 Tillgängliga data

För tunnelns östra hälft är den geologiska, hydrogeologiska och bergmekaniska informationen begränsad och gles. Detta måste beaktas vid kommande projektskeden då kompletterande undersökningar kommer att erfordras innan slutlig tunnellinge fastställs.

6.3.2 Möjliga geologiska strukturer med hög hydraulisk konduktivitet

Det är generellt känt att geologiska strukturer av betydelse med NV-SO utbredning förekommer. I mindre omfattning kan även zoner med SV-NO utbredning förekomma. Detta bör beaktas i senare skeden. I tunnelalternativ 1 löper den sista delen av tunneln närmast Sjölunda i NV-SO riktning vilket, i händelse av en högkonduktiv och uppsprucken vertikal zon med samma sträckning kan påverka tunneldrivningen negativt. Tunnelalternativ 2 är mindre känsligt för detta.

Förekomsten av högkonduktiva zoner i kalkstenen kan påverka utformningen av TBM och i förekommande fall sänka drivningstakten på sådana avsnitt och bör således utvärderas i detalj.

6.3.3 Passage av Inre Hamnen

Där tunneln passerar Inre Hamnen finns det indikation på att tunnelhjässan kan komma i kontakt med Köpenhamnskalkstenen. Det är vidare känt att kalkstenen i vissa delar av hamnbassängen saknar jordtäckte. Det finns således potential för stora inflöden av grundvattnet till tunneln i detta parti samt för s k "blow-out" av tryckluft om underhåll av borrhuvudet skulle krävas i samband med passagen av hamnbassängen. Den geologiska situationen bör därför karteras i detalj inom denna sträcka innan upphandlingen påbörjas. Risken kan minskas genom att sänka tunnelns nivå. Om detta inte bedöms lämpligt bör TBM utrustas med injekteringsutrustning så att förinjektering av kalkstenen kan ske runt och framför TBM på denna sträcka.

6.3.4 Lång mikrotunnel i tunnelalternativ 2

Alternativ 2 innefattar 1 420 m mikrotunnel mellan Sjölunda och Spillepengen. Eftersom det är längre än vad som normalt rekommenderas som drivningslängd för en tunnel med aktuell diameter, bör ett schakt med 6-8 m diameter i nuvarande skede läggas in på mitten av tunnelsträckan.

6.3.5 Befintliga borrhål och brunnar

Brunnar eller borrhål med foderrör av stål som kan nå ner till tunnelnivån utgör allvarliga hinder och risker för TBMs borrhuvud. En inventering av denna typ av hinder bör göras i ett tidigt skede så att tunnelsträckningen i möjligaste mån kan anpassas för att undvika dem. Alternativt måste sådana foderrör i förekommande fall dras upp.

Djupa borrhål, ner i kalkstenen som inte är igengjutna, måste också inventeras och i de fall de ligger närmare tunnellen än ca 50 m gjutas igen med betong i god tid innan TBM passerar för att förhindra "Blow-out" av tryckluft som används vid underhålls- och reparationsarbeten av TBMs borrhuvud.

Eventuella brunnar för utvinning av energi ur grundvattnet utmed tunnelsträckningen bör också inventeras. Om möjligt bör tunnellen dras så att negativ påverkan på denna typ av brunnar i möjligaste mån undviks.

6.3.6 Jordlagren

Huvuddelen av tunnelsträckningens båda alternativ ligger i ett område som utgörs av utfylld havsbotten. Tunneldrivningen påverkas inte av jordlagren. Fyllningsmassorna kan däremot för arbetena med schakten utgöra projektrisk ur två perspektiv. Det ena är eventuell förekomst av föroreningar som kräver särskild hantering vilket i så fall påverkar kostnad och tid för utförande av schakten. Den andra projektrisken är att fyllningen kan innehålla material som utgör hinder för utförande av stödkonstruktionerna runt schakten, till exempel byggnadsrester av armerad betong.

6.3.7 Otillräckligt statistiskt underlag för entreprenadstyrningen

För att undvika anspråk från entreprenören med motivet avvikande geologiska förhållanden, behövs ett bra statistiskt underlag om bergmassans naturliga variationer längs tunnelsträckningen i förfråg-

ningshandlingarna. De skall ligga till grund för tydliga kontraktsvillkor för reglering av hur eventuella avvikelser, utanför kända förhållanden, skall regleras med avseende på tid och ekonomi. Ett otillräckligt underlag kan i värsta fall leda till spekulationer i anbuden.

6.4 Tillkommande undersökningar

För tillkommande undersökningar bör följande strategi i två steg tillämpas.

I ett första steg utförs de undersökningar som krävs för det slutliga valet av tunnelsträckningen och för tillståndsprocessen.

I ett andra steg inriktas undersökningarna mot vad som behövs för ett fullgott förfrågningsunderlag och en uppdatering av kostnadskalkyl och tidplan

I det första steget bör följande fältundersökningar ingå:

6.4.1 Inventeringsarbeten

Inför kommande projektering och kanske även inför de kompletterande fältarbetena behöver följande inventeringar utföras.

- Framtagande av relevanta data från hydrogeologiska undersökningar som ännu inte finns i GeoAtlas databas och arkiv.
- Inventering av förekommande brunnar, inklusive energibrunnar, som kan påverka eller påverkas av tunneldrivningen.
- Inventering av fastigheter som kan påverka eller påverkas av en tunneldrivning.

6.4.2 Undersökningsborrningar och geofysisk loggning längs tunnelsträckningarna

Ökad informationsmängd om kalkstenen och eventuella betydande geologiska strukturer inom områdets östra hälft behövs då data idag är nästan obefintliga. Följande

- Undersökningsborrningar (hammarborrning och kärnborrning) ned till nivån ca -40 m. Vid arbetena dokumenteras lagerföljd, nivå för kalkbergets överyta, gräns mellan Köpenhamn och Bryozokalksten. Vidare dokumenteras grundvattenförhållan-

den och mekaniska egenskaper. Preliminärt bedöms en minsta insats av 10 hammarborrhål och 5 kärnborrhål.

- Geofysisk loggning och flödesloggning i samtliga 15 borrhål. Den geofysiska loggningen omfattar i första hand gamma- och neutronsonder samt resistivitet.
- Markgeofysik längs tunnellingarna (båda alternativen). Undersökningarna utförs med lämplig geofysisk metod där fokus läggs på den övre delen av berggrunden. Syftet är främst att kartlägga bergnivå och eventuella geologiska strukturer som kan medföra risker vid tunnelborrningen.

6.4.3 Punktinsatser vid större vertikalschakt

För stora schakt som utförs vid Sjölunda, Turbinen, Skruvgatan och Rosendal behövs en detaljerad kunskap om jords- och berglagrens egenskaper. På respektive plats föreslås följande undersökningar

- Geoteknisk provtagning och sondering, omfattande 4 punkter per plats
- Undersökningsborrningar (hammarborrning och kärnborrning) ned till nivån ca -40 m. Vid arbetena dokumenteras lagerföljd, nivå för kalkbergets överyta, gräns mellan Köpenhamn och Bryozokalksten. Vidare dokumenteras grundvattenförhållanden och mekaniska egenskaper. Preliminärt bedöms en insats av 2 hammarborrhål och 1 kärnborrhål per plats.
- Provpumpning, en på varje plats, för att närmare bestämma kalkbergets hydrauliska egenskaper och samspelet med jordlagren. Pumpningarna bedöms vara ca en vecka. Utvärderade resultatet används för att beräkna nivåpåverkan (influensområden) och förväntat uttag samt eventuell återföring, vilket behövs för tillståndsprocessen.
- Provtagning för att dokumentera förekomst av förorenade jordlager, vilket samordnas med den geotekniska undersökningen. Resultaten är viktiga i samband med tillståndsprovningen.

6.4.4 Upprättande av kontrollprogram för grundvatten

Upprättande av övervakningsprogram för grundvatten så att referensvärden kan uppmätas är av stor vikt för tillståndprocessen samt vid projektering av anläggningen. Följande punkter ingår i denna aktivitet.

- Inventering av lämpliga observationspunkter i både jord- och berglager och då med hänsyn taget till rådande infrastruktur och risker
- Uppstart av ett mätprogram, inledningsvis baserat på manuella mätningar

I en kommande projektering kan ytterligare fältundersökningar krävas. Om och i vilken omfattning bestäms av vilka resultat som nås i denna inledande etapp.

7 Tunnelldjup och tunnelsträckning

Avloppstunnelns placering i plan och profil styrs av ett flertal aspekter. De viktigaste är följande:

- Närhet till anslutande objekt, främst de stora avloppspumpstationerna Turbinen, Rosendal och Spillepeng men även avloppspumpstationerna Carlsgatan, Frihamnsallén, Skruvgatan, Kosterögatan och Flintränegatan samt utjämningsmagasinet i Föreningsgatan
- Hydraulisk funktion (magasineringskapacitet samt avbördnings- och självrensningsförmåga)
- Berggrundsförhållanden (geologiska och hydrogeologiska förutsättningar)
- Tunnelborrningstekniska begränsningar
- Möjlighet till etablering av byggplatser för hantering av tunnellement och schaktmassor
- Förekommande yttre hinder såsom t ex Citytunneln, bergborrade brunnar o d

7.1 Alternativa sträckningar i plan

Två alternativa sträckningar i plan från avloppspumpstation Turbinen i väster till Sjölunda avloppsreningsverk i öster har studerats se ritningar nr R01-001 - 004. I båda beaktas förekommande yttre hinder, främst Citytunneln. Tunnelarna har således givits linjeföring med god marginal norr om Citytunnelns servitutsområde. Sträckningarna är princip att betrakta som ytterlighetsalternativ. Andra planlägen kan således vara tänkbara.

7.1.1 Tunnelsträckningsalternativ 1

I detta alternativ har huvudtunneln givits en sträckning som anpassats med avseende på de befintliga stora avloppspumpstationernas lokalisering på så sätt att den tangerar både avloppspumpstation Rosendal och avloppspumpstation Spillepeng på vägen mellan avloppspumpstation Turbinen och Sjölunda avloppsreningsverk. Även avloppspumpstationerna Carlsgatan och Frihamnsallén ligger i sträckningen.

Separata anslutningstunnlar erfordras i detta alternativ för inkoppling av avloppspumpstationerna Skruvgatan, Kosterögatan och Flintränegatan samt för anslutning av utjämningsmagasinet i Föreningsgatan och bräddavloppet vid Turbinens pumpstation.

Sträckning för såväl huvudtunnel som anslutningstunnlar framgår av ritningarna nr R01-001 och 002.

Huvudtunneln blir då 7,3 km lång och dess tvärsnittsarea 11,4 m². Anslutningstunnlarna ges samtliga dimension Φ 1 600 mm och deras sammanlagda längd blir 2,6 km.

Så gott som 95 % av masshanteringen och komplett upplag och transporter för de stora tunnelementen kan i detta alternativ koncentreras till en bygplats vid Sjölunda avloppsreningsverk.

Montering och demontering av det stora tunnelborraggregatet kommer i detta fall att kunna begränsas till vardera ett tillfälle.

7.1.2 Tunnelsträckningsalternativ 2

I alternativ 2 har man sökt finna en så kort sträckning för huvudtunneln mellan avloppspumpstation Turbinen och Sjölunda avloppsreningsverk som möjligt. Huvudtunneln får då två delsträckor:

1. Från avloppspumpstation Turbinen via avloppspumpstationerna Carlsgatan, Frihamnsallén, Skruvgatan, Kosterögatan och Flintränegatan till Sjölunda avloppsreningsverk
2. Från avloppspumpstation Rosendal till anslutning vid avloppspumpstation Skruvgatan

Separata anslutningstunnlar erfordras i detta alternativ för inkoppling av avloppspumpstation Spillepeng samt för anslutning av utjämningsmagasinet i Föreningsgatan och bräddavloppet vid Turbinens pumpstation.

Den sammanlagda längden för huvudtunneln blir då 6,15 km och dess tvärsnittsarea 13,5 m². Anslutningstunnlarna ges båda dimension Φ 1 600 mm och deras sammanlagda längd blir 2,0 km.

Sträckning för såväl huvudtunnlar som anslutningstunnlar framgår av ritningarna nr R01-003 och 004.

Huvuddelen av masshanteringen samt upplägg och transport av de stora tunnelementen kommer i detta fall att fördelas på två byggplatser nämligen Sjölunda avloppsreningsverk och avloppspumpstation Rosendal. Drygt 85 % av schaktmassorna och ca 90 % av tunnelementhanteringen kommer att hanteras vid byggplatsen i Sjölunda. Vid byggplatsen i Rosendal kommer då drygt 10 % av schaktmassorna och ca 10 % av tunnelementen att hanteras.

Montering och demontering av det stora tunnelborraggregatet kommer i detta alternativ att behöva utföras två gånger för respektive moment.

7.2 Alternativa sträckningar i profil

Val av sträckning i profil är främst beroende av geologiska, hydrogeologiska och hydrauliska faktorer: Tunneldrivning bör ske i så gynnsamma geologiska och hydrogeologiska formationer som möjligt samtidigt som hydrauliska aspekter såsom avbördningskapacitet, självrensningförmåga och uppfordringshöjd för pumpar ska beaktas.

Det är således positivt om man kan driva huvudtunneln i bryozokalkens zon II eller åtminstone uppnå en minsta bergtäckning av 5 m och samtidigt uppnå de i avsnitt 5.2.2 beräknade minsta längslutningarna för huvudtunneln.

Vid avloppspumpstation Turbinen bedöms överyta för bryozokalkens zon II ligga på nivån ca -8 i Malmö lokala höjdsystem, se "gamma-markern" i figurer 8 och 9 nedan vilken representerar övergången mellan Köpenhamnskalksten och Bryozokalksten. Kunskaperna om lagerföljden öster om Frihamnsviadukten och vid Sjölunda avloppsreningsverk är emellertid ringa.

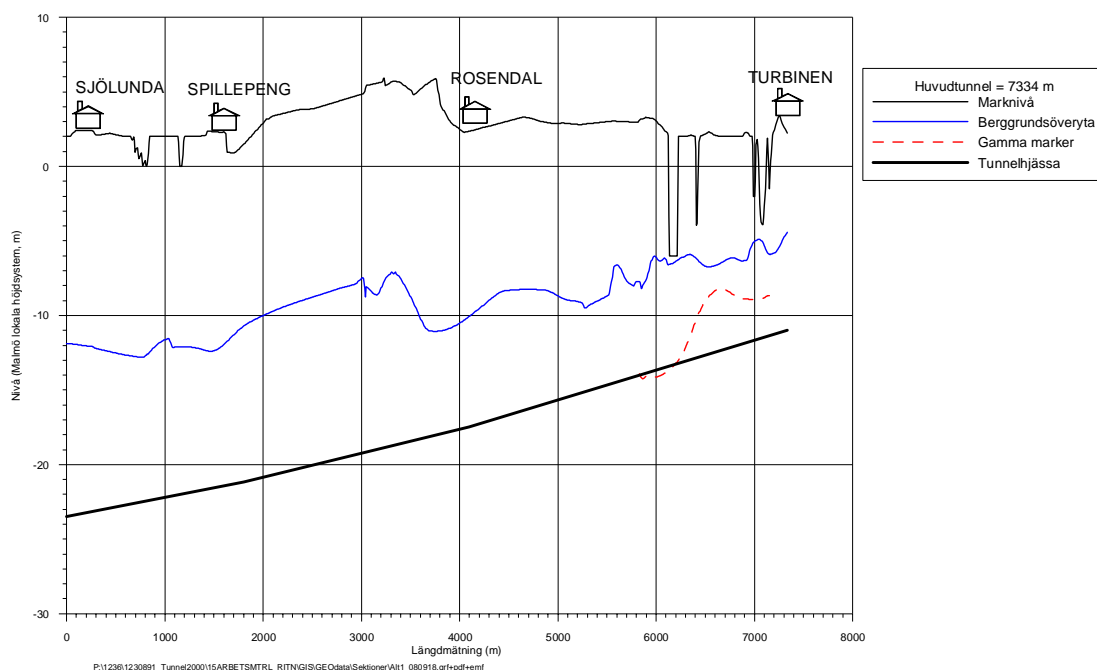
Tunneln bör med hänsyn till uppfordringshöjden för pumpningen som behövs från tunneln upp till Sjölunda avloppsreningsverk inte heller läggas för djupt eftersom energibehovet då bli onödigt stort för pumpningen. Nivån får dock anpassas så att man med rimlig säkerhet kan driva tunneln i bryozokalkens zon II längs hela sträckan.

7.2.1 Tunnelsträckningsalternativ 1

Med beaktande av ovanstående beskrivning av läget för överyta bryozokalkens zon II vid avloppspumpstation Turbinen bör huvudtunnelns hjassa där således kunna förläggas på nivå ca -11,0. Vattengången skulle då hamna på nivå ca -15,0 där.

Tunnelprofilen anpassas på sträckan från avloppspumpstation Turbinen till Sjölunda avloppsreningsverk efter kravet på minsta lutningar för att uppnå självrensningförmåga, se avsnitt 5.2.2.

Tunnelprofilen blir då enligt figur 11 nedan.



Figur 11 Profil alternativ 1

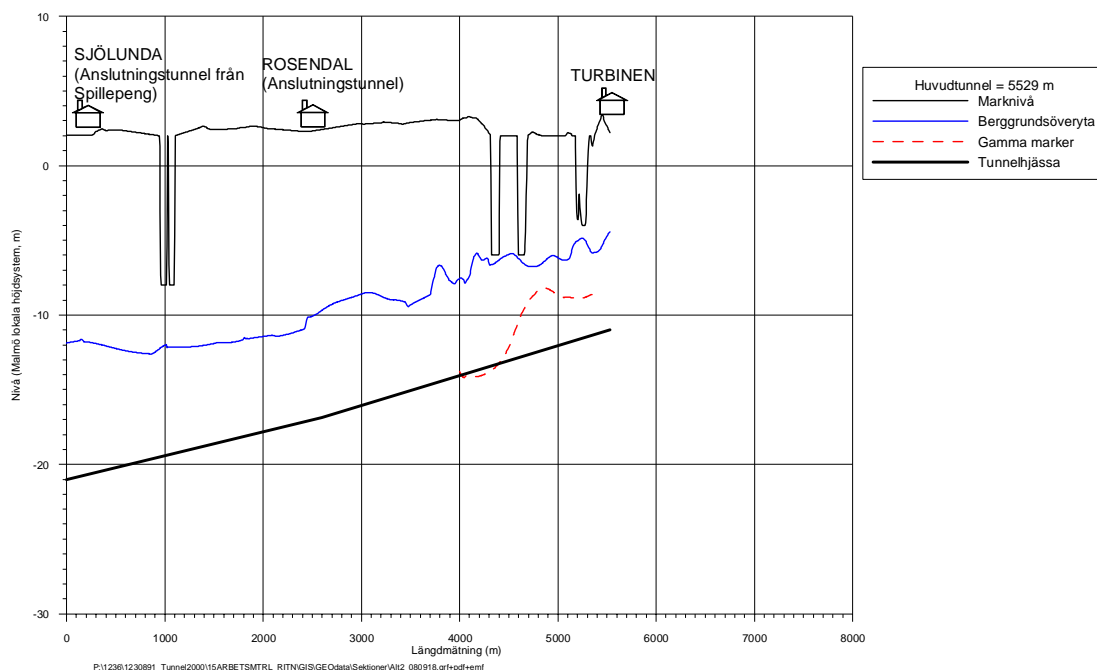
Som framgår av figuren kommer tunneln att på hela sträckan med undantag för ett kortare avsnitt vid Inre hamnen sannolikt till fullo komma att hamna i bryozokalkens zon II. Vattengång för tunneln kommer att bli ca – 28,0 vid pumpstationen under Sjölunda avloppsreningsverk.

7.2.2 Tunnelsträckning alternativ 2

Under samma förutsättningar som för alternativ 1 ovan bör vattengången för tunneln vid avloppspumpstation Turbinen kunna bli ca 15,5.

Tunnelprofilen anpassas på sträckan från avloppspumpstation Turbinen till Sjölunda avloppsreningsverk efter kravet på minsta lutningar för att uppnå självrensningförmåga, se avsnitt 5.2.2.

Tunnelprofilen blir då enligt figur 12 nedan.



Figur 12 Profil alternativ 2

Som framgår av figuren kommer tunneln att på hela sträckan med undantag för ett kortare avsnitt vid Inre hamnen sannolikt helt bli belägen i bryozokalkens zon II. Vattengång för tunneln kommer att bli ca – 25,5 vid pumpstationen under Sjölunda avloppsreningsverk, d v s 2,5 m högre än för alternativ 1.

7.3 Jämförelse mellan tunnelalternativen

Tunnelalternativen kan jämförelsevis sammanfattas på följande sätt;

7.3.1 Alternativ 1

Huvudtunnel: Invändig diameter 3,9 m, längd 7,3 km.

Mikrotunnel: 5 tunnelsträckor, sammanlagd längd 2560 m.

Schakt: 2 stora schakt för huvudtunnel. 5 schakt för mikrotunnel. 3 anslutningsschakt till huvudtunneln

Masshantering och logistik: Sker till största delen vid arbetsplatsen i Sjölunda

Omgivningspåverkan: Risk för bullerstörning på grund av tunnelventilation vid Kosterögatan och Rosendal.

Risker: Geologisk risk främst vid passage av Inre Hamnen samt för huvudtunneln mellan Spillepengen och Sjölunda.

7.3.2 Alternativ 2

Huvudtunnel: Invändig diameter 4,2 m, längd 6,1 km.

Mikrotunnel: 3 tunnelsträckor, sammanlagd längd 2020 m.

Schakt: 4 stora schakt för huvudtunnel. 3 eller möjligen 4 schakt för mikrotunnel. 4 anslutningsschakt till huvudtunneln

Masshantering och logistik: Sker både vid arbetsplatsen i Sjölunda och vid Rosendal. Omlastning av bormassor och masstransporter i innerstaden kommer att ske.

Omgivningspåverkan: Risk för bullerstörning från tunnelventilation vid Rosendal och Spillepengen. Nedsmutsning av gator vid transport av bormassor. Större grundvattenpåverkan än alternativ 1 på grund av fler stora schakt.

Risker: Geologisk risk främst vid passage av Inre Hamnen.

7.3.3 Diskussion

Den mest betydande skillnaden mellan de två alternativen är huvudtunnelns längd, antalet stora schakt samt omgivningspåverkan. Skillnaden i tunneldiameter bedöms inte medföra någon betydande skillnad i tid och kostnad. Möjligen kan den större diametern till och med bli billigare och snabbare att utföra tack vare större utrymme i TBM som underlättar arbetet, särskilt beträffande hantering och montage av tunnelelementen och eventuella reparationsarbeten på TBM.

De två extra schakten i alternativ 2 innebär, jämfört med alternativ 1, ökad omgivningspåverkan samt tid och kostnad för byggande av dessa schakt. Schaktet vid Skruvgatan innebär å andra sidan att man i alternativ två har möjlighet att komma åt borrhuvudet på TBM för underhåll och reparation vilket är en fördel ur riskperspektiv. Vissa kostnader tillkommer för utrustning som krävs för att TBM ska kunna passera genom schaktet. Schaktet vid Skruvgatan bör därför färdigställas till fullt djup i god tid innan TBM ankommer.

Som också framgår av kostnadsbedömningen innebär den kortare sträckningen för huvudtunneln i alternativ 2 att detta alternativ framstår som fördelaktigt, trots de extra schakten, den något sämre logistiken och den större störningen i stadsmiljön under byggtiden.

8 Byggmetoder m m

8.1 Huvudtunnel

8.1.1 Allmänt

För utförandet av huvudtunneln är två principiellt olika metoder tänkbara, nämligen drivning med tunnelbormaskin (TBM) eller genom fräsning med s k Roadheaders.

Med tanke på grundvattenpåverkan och potentiellt ut- eller inläckande vatten förutsätts att tunneln i sin helhet måste kläs in med en betonginklädnad. Utförandet av betonginklädnaden sker, som framgår nedan, på olika sätt vid de två tunneldrivningsmetoderna.

8.1.2 Borrning

8.1.2.1 Tunneldrivning

Den egentliga tunnelbormaskinen (TBM) består av ett roterande borrhuvud och en sköld som utgörs av en cirkulär cylindrisk stålman- tel. Skölden skyddar den utrustning och personal krävs för tunneldriv- ningen närmast bakom borrhuvudet och säkerställer därtill tunnelns stabilitet och vattentätthet tills tunnelinklädnaden monterats. Sköldens längd i tunnelriktningen är normalt ungefär samma som tunnelns bor- rade diameter.

Bakom skölden följer en serviceenhet för hantering av tunnelseg- ment, injektering, vatten, kraftförsörjning, personalutrymmen etc. Ser- viceenheten utgörs av ett flertal sammankopplade vagnar som dras framåt med hjälp av TBM'ens hydraulcylindrar i samma takt som tun- nelborrningen sker. Som referens kan nämnas att TBM som använ- des för Citytunneln hade en borrar diameter på ca 9 m, en ca 10 m lång sköld och en serviceenhet med ca 110 m längd. I det nu aktuella fallet kan sköldens längd förväntas vara av storleksordningen 5-6 m och serviceenhetens sammanlagda längd ca 50 m.

En TBM åstadkommer således en tunnel med cirkulärt tvärsnitt ge- nom att det roterande borrhuvudet lossgör berget i tunnelfronten.

Vid geologiska förhållanden som i Malmö kan teoretiskt två olika typer av TBM användas.

Den ena typen, s k slurymaskin bygger på att stödtrycket mot tunnelfronten upprätthålls med hjälp av bentonitsuspension som pumpas ut framför borrhuvudet. Borrmasorna blandas därvid med bentonitsuspensionen och pumpas ut ur maskinen och tunneln genom en rörledning.

Den andra maskintypen benämns EPB (Earth Pressure Balance). I denna maskintyp upprätthålls stödtrycket mot tunnelfronten av bormassorna. För att få lämpliga egenskaper kan den lossbrutna kalkstenen, beroende på beskaffenhet, behöva konditioneras med kemikalier (främst tensider och skum). Borrmasorna transporteras i ett första steg, närmast bakom borrhuvudet, ut via en skruvtransportör och därefter vidare med transportband. Borrmasorna kan transporteras hela vägen ut ur tunneln till startschaktet med transportbandet, alternativt att omlastning sker bakom TBM till spårbundna transportvagnar. Vid startschaktet installeras ett system för den sista vertikala utlastningen till markytan.

De ovan nämnda två maskintyperna utvärderades mot varandra för Citytunnelprojektet och EPB valdes för tunnelborringen som nu har genomförts framgångsrikt. Av det skälet förordas i detta skede att EPB-tekniken väljs även för den nu aktuella tunneln och den fortsatta beskrivningen bygger på detta val.

Som en integrerad del av tunneldrivningen monteras tunnelinklädnaden av förtillverkade betongsegment omedelbart innanför den bakre delen av TBM maskinens sköld. Det innebär att den borrarade tunnelns diameter måste vara någon decimeter större än tunnelinklädnadens ytterdiameter. Betongsegmenten transporteras in i tunneln och fram till sköldens bakkant med spår- eller hjulgående vagnar där de lastas av för vidare hantering och montage med de s.k. erektorarmarna som sitter inuti skölden.

I ett sista fortlöpande arbetsmoment injekteras den uppkomna spalten mellan berget och tunnelinklädnaden med cementbruk för att säkerställa tunnelns stabilitet och förhindra att nya strömningsvägar för grundvattnet uppstår längs tunneln.

Bormaskinen drivs successivt framåt med hjälp av hydrauliska cylindrar som trycker mot ändytan på det senast monterade tunnelinklädnadselementet.

8.1.2.2 Linjeföring och tunneltvärsnitt

Eftersom en liten tunneldiameter, säg under 4 m, innebär att tunneldrivning och montage av tunnelsegment samt underhålls- och reparationsarbeten på borrhuvudet skall utföras inom ett mycket begränsat utrymme visar det sig vid det nu aktuella tunneltvärsnittet att det ofta blir fördelaktigt både ur tids- och kostnadsaspekt att öka tunnelns storlek utöver vad som krävs ur hydraulisk synpunkt. Detta kan vid upphandling överlåtas till entreprenörens bedömning. Väljer entreprenören en större tunnel, blir följaktligen magasinets kapacitet större medan formen på tunnelns botten eventuellt kan behöva justeras med hänsyn till självrensningen.

TBM tekniken innebär vissa begränsningar i tunnelns kurvradier. För en tunnel med det aktuella tvärsnittet bör kurvradien inte understiga 150 m. För att medge korrigerande av tunnellen i de fall TBM drivningen avviker utanför uppställda toleranser bör tunnelsegmenten dock utformas för en teoretisk minsta diameter av 100 m.

8.1.2.3 Tunnelinklädnad

Vid tunneldrivning med TBM åstadkommes en tunnel med cirkulärt tvärsnitt. Tunneln kläs successivt in med en betonginklädnad som byggs upp med ringformade element. Varje ring består av ett antal segment samt en kilformad s.k. låssten som medger att ringen spänns upp vid montaget i TBM-skölden. TBM tekniken innebär att man i dag eftersträvar att så långt som möjligt använda sig av förtillverkade standardelement av armerad betong, d v s alla segment i en ring med undantag för låsstenen är lika. Genom att den färdiga ringen designas med en svagt konisk form kan man, genom att i varierande grad rotera de olika ringarna i förhållande till varandra, åstadkomma att tunnellen blir rak eller krökt.

Den form på tunnelns botten som krävs ur hydraulisk synpunkt åstadkommes genom en separat gjutprocess i den färdigställda cirkulära tunneln.

Tillverkningen av tunnelsegmenten kan ske i närheten av tunnelmynningen eller på annan lämplig plats. Det kan även visa sig fördelaktigt att tillverka tunnelsegmenten utanför Sverige.

Oavsett vilket, bör en större yta för lagring av segment nära tunnelmynningen anordnas så att logistiken blir tillfredsställande och risken

för avbrott i tunneldrivningen på grund av brist på segment minimeras.

8.1.2.4 Omgivningspåverkan

Tunneldrivningen sker som framgått ovan i en kontinuerlig sluten process som i princip inte påverkar grundvattensituationen och endast ger obetydliga marksättningar ovanför tunneln. Risken för sättnings-skador på byggnader över tunneln är därför i princip försumbara, förutsatt att tunneldrivningen utförs på ett korrekt sätt.

Den huvudsakliga omgivningspåverkan under tunneldrivning med TBM utgörs av stomljud som kan uppfattas i byggnader ovanför borrhuvudets närhet. Störningen på en enskild byggnad pågår vid tunneldrivning med normal framdrift under ca en vecka.

Omgivningspåverkan av tänkbara kemikalier för konditionering av bormassorna behöver värderas under tillståndsprocessen så att relevanta krav sedan kan ställas i förfrågningshandlingarna. Bormassornas innehåll av konditioneringskemikalier kan även, på samma sätt som för Citytunnelprojektet, innebära att särskilda krav kommer att gälla för behandling av bormassorna innan slutdeponering samt att bormassorna vid slutdeponeringen innesluts genom invallning och övertäckning med täta jordmassor.

8.1.2.5 Tidsaspekter

I allmänhet konstrueras en TBM för de projektspecifika förhållandena varför leveranstiden kan vara omkring ett år, såvida inte någon tillverkare eller anbudsgivare skulle inneha en begagnad TBM med lämplig diameter och utformning.

8.1.3 Fräsning

8.1.3.1 Tunneldrivning

Tunneln drivs med denna metod genom att berget i tunneln fräses loss med en s.k. Roadheader som består av ett fräshuvud monterat på en rörlig hydraulmanövrerad arm som i sin tur sitter på ett larvburet chassi. Uttransporten av det lossbrutna berget sker först med transportband till Roadheaderns bakkant. Där kan massorna omlastas antingen till transportband eller till spår- eller hjulgående vagnar för uttransport ur tunneln. Roadheaders levereras i olika stor-

lek beroende på det aktuella tvärsnittets storlek. Vid mindre utrymmen kan berget också lossgöras genom att ett mindre fråshuvud monteras på armen till en vanlig schaktmaskin.

Tunnelfronten drivs framåt genom fräsning i etapper vars längd anpassas med hänsyn till tunnelns stabilitet och mängden inläckande grundvatten. Etappernas längd varierar vid de aktuella geologiska förutsättningarna mellan 2 och 5 m. Efter varje framdrivningsetapp utförs erforderlig bergförstärkning med armerad sprutbetong och bergbultar. Vid kraftig vatteninströmning till tunneln krävs också att berget tätas med förinjektering. Där förinjektering krävs måste tunnelns vidare framdrift avvakta tills injekteringsarbetet är färdigställt vilket medför väsentligt reducerad drivningskapacitet.

8.1.3.2 Linjeföring och tunneltvärsnitt

Genom att fråshuvudet genom armens hydraulik kan röras fritt i höjd- och sidled, kan valfri linjeföring och valfritt tunneltvärsnitt åstadkommas.

Eftersom tunnelfronten vid fräsningalternativet är öppen och oskyddad innan bergförstärkningen installerats bör en tunnel som drivs med denna metod, av stabilitets- och säkerhetsskäl, främst med tanke på risken för plötsliga kraftiga inflöden av grundvatten, läggas något djupare än en tunnel som drivs med TBM för att säkerställa att drivning sker i relativt sprickfri kalksten (Bryozokalkstenen).

Vid denna typ av öppen tunneldrivning måste man också räkna med att sonderingsborring framför tunnelfronten behöver utföras kontinuerligt för att identifiera eventuella zoner med hög vattenföring och att sådana zoner kan behöva tätas genom förinjektering. Detta reducerar framdriften avsevärt.

8.1.3.3 Tunnelinklädnad

Tunnelns inre mantelyta efter bergförstärkning med sprutbetong får antas vara alltför rå och oregelbunden för att vara acceptabel ur hydrauliskt perspektiv.

Därför måste en slutlig tunnelinklädnad av armerad betong utföras, i en separat gjutprocess på lämpligt avstånd bakom Roadheadern. Denna inre betongkonstruktion utförs normalt med hjälp av en innerform som förflyttas längs tunneln på räls. Avståndet bakom tunnelfronten bestäms främst med hänsyn till entreprenörens logistik i tun-

neln. Gjutning av en tunnele tapp bedöms kunna påbörjas efter att tunnelns fronten passerat de respektive schakten längs tunnelns förutsatt att dessa då kan nyttjas för transport av tunnelmassor och byggmaterial.

8.1.3.4 Omgivningspåverkan

Tunneldrivning med fräsning innebär att en temporär grundvattensänkning utbildas nära tunnelns fronten genom grundvattnets inströmning i tunneln. Under vissa omständigheter kan en aktiv grundvattensänkning genom pumpning i uttagsbrunnar från markytan krävas. Den ursprungliga grundvattensituationen kan återställas när den slutliga tunnelinklädnaden färdigställts.

Marksättningarna över tunneln bedöms bli något större än vid drivning med TBM. Skaderisken för byggnader över tunneln är dock även i detta fall obetydlig.

Stomljusnivån bedöms bli likvärdig som vid alternativet med TBM.

8.1.3.5 Tidsaspekter

Roadheaders av lämpligt utförande är en vanligt förekommande standardprodukt hos ett flertal tillverkare. Begagnade maskiner kan användas och många entreprenörer i Europa har sådana i sin maskinpark. Leverans- eller mobiliseringstiden är därför normalt betydligt kortare än för en TBM.

Kapaciteten vid tunneldrivning är normalt mindre än för en TBM. Fräsningens alternativet medger dock att flera tunnelns fronter öppnas, varför en byggtid likvärdig med TBM sannolikt ändå kan åstadkommas.

På grund av större grundvattenpåverkan kan tillståndsprocessen eventuellt kräva mer tid än för TBM.

8.1.4 Rekommenderad byggmetod

Mot den ovan beskrivna bakgrunden och med beaktande av de positiva erfarenheterna från Citytunnelprojektet bedömer vi att den lämpligaste metoden för utförande av huvudtunneln är tunneldrivning med EPB-TBM.

Tunneldrivningen bör starta vid Sjölanda avloppsreningsverk, främst med tanke på att tillgången till mark för entreprenörens arbetsområ-

de, upplag av tunnelsegment m m. är bättre där än vid Turbinen. Vidare är förutsättningarna för borttransport av bormassorna bättre här främst med hänsyn till att tung och smutsande fordonstrafik i staden minimeras. Buller från tunnelventilationen bedöms också innebära mindre störning i detta område jämfört med innerstadsmiljön.

Tunnelns höjdläge bör väljas så att huvuddelen av tunneldrivningen kommer att ske i bryozokalksten/kalkstenens hydrauliska zon II. Om drivning i zon I också blir aktuell, bör en bergtäckning på minst 5 m eftersträvas för att undvika att TBM kommer i kontakt med den allra ytligaste, mest uppspruckna och flintrika kalkstenen.

Som framgår av avsnittet Geologiska risker kräver den ytnära passagen av Inre Hamnen särskilda riskreducerande åtgärder. Till exempel kan det innebära att TBM behöver förses med utrustning för sonderingsborrning och förinjektering.

Fräsning kan möjligen bli aktuellt i mindre omfattning för pumpstationer och andra mindre utrymmen som inte kan utföras med TBM. För sådana arbeten bedöms grävmaskin med fråshuvud vara den lämpligaste utrustningen och mobilisering av Roadheader bedöms därför inte bli aktuellt.

8.2 Anslutningar

8.2.1 Allmänt

För att medge kort byggtid i kombination med minsta möjliga omgivningspåverkan har filosofin vid denna utredning varit att en hög mekaniseringsgrad med modern utrustning vid byggandet av anslutningstunnlar och schakt skall eftersträvas. Detta innebär i sin tur att dimensionerna för alla anslutningstunnlar skall vara lika. Dimensionerna för de respektive schakten för dessa tunnlar så långt möjligt också görs lika så att samma schaktsänkningsaggregat kan användas för samtliga schakt. Den tänkta utrustningen kan justeras för viss variation av schaktens diameter, säg mellan 6-8 m.

För huvudtunneln behövs större schakt i tunnelns båda ändar varav det största, ca 20 m diameter, krävs vid Sjölunda avloppsreningsverk eftersom TBM skall monteras och starta där samt att alla (alternativ 1) eller huvuddelen av (alternativ 2) bormassor och tunnelsegment skall transporteras genom detta schakt.

8.2.2 Borrning

För drivning av anslutningstunnlarna finns två olika maskintyper. Den ena, s.k. slurymaskin, baseras på att bormassorna genom tillsats av bentonitsuspension görs pumpbara och pumpas ur tunneln genom en rörledning. Den andra maskintypen är baserad på EPB-teknik där bormassorna transporteras ut på samma sätt som beskrivits ovan i avsnitt 8.1.2.1. Av samma skäl som vid valet av EPB-tekniken för huvudtunneln förordas mikro-tunnling med EPB-teknik för drivning av anslutningstunnlarna.

8.2.3 Schakt

8.2.3.1 Allmänt

Eftersom tunneldrivning med TBM förordas som den lämpligaste byggmetoden, beskrivs i det följande endast lösningar anpassade till denna drivningsmetod.

8.2.3.2 Schakt för huvudtunneln

Vid Sjölanda avloppsreningsverk och vid Rosendals pumpstation (alternativ 2) krävs ett schakt med ca 20 m diameter. Schaktet kan vara cirkulärt, möjligen elliptisk eller rektangulärt med den längsta axeln i tunnelns riktning. Det senare utförandet innebär totalt sett ett något mindre schakt. Om utrymmet i markplanet skulle behöva begränsas kan schaktet göras med en dagöppning på 15 m diameter varefter det utvidgas med NATM teknik nere vid tunnelnivån.

Schaktet kan på samma sätt vid behov vidgas för att skapa lämpligt utrymme för pumpstationen.

Schaktet utförs som sänkschakt med följande principiella arbetsgång:

- 1) En stödvägg av spont, sekantpålar eller slitsmur utförs genom jordlagren
- 2) Injektering av kalkstenens översta, mest vattengenomsläppliga lager utförs under stödväggen. I fallet med slitsmur kan denna vägg nedföras tillräckligt djupt i kalkstenen för att injekteringsarbetena skall kunna undvikas. Detta gäller möjligen också för stödvägg av sekantpålar.
- 3) Kontrollprogram för grundvattenpåverkan etableras

- 4) Provpumpning utförs innanför stödvägg/injekteringskärm för bekräftelse av att tillräcklig täthet uppnåtts.
- 5) Jordlagren schaktas bort med normal schaktmaskin.
- 6) Kalkstenen schaktas med fräsning eller hydraulisk demoleringshammare i etapper.
- 7) Inläckande grundvatten pumpas bort och återinfiltreras i erforderlig omfattning.
- 8) Berget karteras och erforderlig förstärkning med sprutbetong och bergbult installeras för varje schaktetapp innan fortsatt bergschaktning sker

Vid Turbinen och vid Skruvgatan (alternativ 2) krävs ett schakt med ca 15 m diameter, primärt för demontering av TBM. Byggmetod för schaktet blir samma som vid Sjölunda avloppsreningsverk.

Även här kan elliptisk eller rektangulärt schakt användas om det visar sig vara mer fördelaktigt med tanke på utrymme, tid och kostnad. Anbudsgivarna bör i samband med entreprenadupphandlingen tillåtas föreslå den totalt sett mest förmånliga formen på schakten på samtliga platser ovan.

8.2.3.3 Schakt för anslutningstunnlar och tillopp

Samtliga schakt för anslutningstunnlarna bör ha samma dimension, i storleksordningen 6-8 m, så att de kan utföras med modern schaktsänkingsutrustning.

Denna byggmetod innebär att ett helt betonginklätt, cirkulärt schakt utförs med en drivningsprocess som liknar TBM-drivningen. En maskin med ett roterande borrhuvud arbetar sig nedåt, schaktmassorna pumpas upp ur schaktet och maskinen monterar inklädnaden av betongsegment successivt. Vattennivån inuti schaktet kan under byggtiden hållas på sådan nivå att den yttre påverkan på grundvattennivån inte blir större än vid tunneldrivning med TBM.

Metoden medger snabb sänkning av schakten men minimal omgivningspåverkan och det bedöms att ett schaktsänkingsaggregat kan etablera samtliga schakt inom ramen för tillgänglig tid.

Schakten kan alternativt utföras med samma byggmetod som i avsnitt 8.2.3.2 beskrivits för de största schakten. Ett sådant utförande bedöms dock vara betydligt mer tidskrävande. Förslagsvis hålls frågan om byggmetod för schakten öppen till entreprenadupphandlingen så att projektet kan tillgodogöra sig av marknadens bästa villkor vid upphandlingstillfället.

Schakten vid Rosendal (tunnelalternativ 1) och Skruvgatan (tunnelalternativ 2) förutsätts bli färdigställda före huvudtunneln. De måste därefter delvis återfyllas med kalkstensmassor för att underlätta TBM passagen. Så snart TBM passerat schaktet tas fyllningsmassorna bort.

För övriga schakt, d v s primärt för tillopp till huvudtunneln kommer en diameter på ca 3 m att vara tillräcklig. Dessa schakt bedöms kunna utföras med samma byggmetod samma som för de stora schakten vid Sjölunda och Turbinen.

För anslutning av mindre pumpstationer till huvudtunneln, där ett fritt mått på ca 0,6 m är tillräckligt ur hydraulisk synpunkt, utförs schakten lämpligen med konventionell teknik s k grovhålsborrning. Genom jordlagren förses borrhålet med ett foderrör av stål. I det borrhålet installeras ett rör av syrafast stål och röret injekteras fast mot borrhålets väggar respektive mot foderröret.

8.2.4 Mikrotunnling

8.2.4.1 Drivningslängd

Den möjliga rivningslängden beror primärt på de geologiska förhållandena, linjeföringen och rördelarnas innerdiameter.

I vissa länder tillåts inte mindre fritt utrymme än 1 200 mm av säkerhetsskäl med tanke på tillgänglighet och arbetsmiljö vid verktygsbyte på borrhuvudet, installation av "intermediate jacking stations", luftslussar och liknande. Detta innebär i praktiken att innerdiametern sätts till 1 600 mm.

Vid diameter mindre än 3 000 mm gäller generellt att det är mycket begränsad åtkomlighet till maskinen i händelse av haverier. Detta representerar en betydande projektrisk vid små diametrar och därför begränsas drivningslängderna i praktiken.

Små tunneldiametrar innebär också att maskinen måste fjärrstyras och att uttransporten av bormassor måste ske genom pumpning i rör. Det sistnämnda kan innebära en praktisk risk om borrar måste ske i Köpenhamnskalksten, med dess större hårdhet, blockighet och flintinnehåll och därmed att bormassorna kan vara svårare att få pumpbara.

Vid gynnsamma geologiska förutsättningar (såsom Bryozokalkstenen i Malmö) och begränsat antal kurvor kan följande drivningslängder antas om det förutsätts att byte av verktygen på borrhuvud skall kunna ske, vilket rekommenderas:

Innerdiameter	Drivningslängd
1 600 mm	700 m
2 000 mm	1 100 m

8.2.4.2 Rördelar

Rördelarnas längd väljs normalt till mellan 2 och 3 m, beroende på rördiameter, kurvradier, lastbilstransporter, schaktens storlek, typ av thrust frame, etc.

8.2.4.3 Kurvradier

Möjliga kurvradier bestäms av:

- Rördelarnas längd
- TBM-sköldens längd
- Utformningen av liningsegmentens/rördelarnas fogar
- Geologin
- Kurvkombinationer, d v s höger-vänster eller horisontal-vertikal, ger större kurvradier
- Total tunnellängd
- Längden på rak tunnel innan första kurvan
- Antalet "intermediate jacking stations"

Som ett generellt riktvärde förutsätts i detta utredningsskede att en minsta kurvradie på 300 m är paktiskt möjlig.

8.3 Tunnelanslutningar, lokalisering och utrymmesbehov

8.3.1 Angreppsschakt vid Sjölunda avloppsreningsverk

För montage av TBM samt logistiken under tunneldrivningen krävs ett schakt som vid tunnelnivån är minst 20 m i diameter. Dagöppningen och schaktets del över tunnelhjässan kan vid behov minskas till ca 15 m, men i så fall måste schaktets nedersta del vidgas med s.k. NATM teknik. Även mikrotunnling ska utföras från detta schakt.

8.3.2 Anslutningsschakt vid Turbinens pumpstation

För demontering av TBM behövs vid Turbinen ett schakt med 15 m diameter.

På västra sidan av Turbinkanalen behövs även ett schakt med diameter 6 – 8 m för mottagning och demontering av mikrotunnelaggregat.

8.3.3 Anslutningsschakt vid Spillepengens pumpstation

För tunnelalternativ 1 utförs ett anslutningsschakt av lämplig dimension genom schaktsänkning, diameter 6-8 m, eller raise-borrning med diameter ca 1 m, ner till huvudtunneln beroende på de hydrauliska förutsättningarna.

För tunnelalternativ 2 krävs ett mottagningsschakt för mikrotunnlingen med 6-8 m diameter. Ungefär mitt på sträckan mellan Sjölunda avloppsreningsverk och Spillepengens pumpstation, mellan Spillepengsgatan och Segeå, krävs ett serviceschakt med ca 6 m diameter för tillsyn och service av mikrotunnelaggregatet. I detta schakt förslås även ventilationsanordning för mikrotunneln installeras.

8.3.4 Anslutningsbörning vid pumpstation Carlskatan

Anslutningsbörning med grovhålsbörning, diameter ca 0,8 m, utförs vid båda tunnelalternativen.

8.3.5 Anslutningsbörning vid pumpstation Frihamnsallén

Anslutningsbörning med grovhålsbörning, diameter ca 0,8 m, utförs vid båda tunnelalternativen.

8.3.6 Anslutningsschakt vid pumpstation Skruvgatan

För tunnelalternativ 1 utförs ett sänkschakt med 6-8 m diameter för mottagning av mikrotunnelaggregatet.

För tunnelalternativ 2 utförs ett schakt för demontering av EPB-TBM med samma utformning som beskrivits för schaktet vid Turbinens pumpstation i avsnitt 8.2.3.2 ovan.

8.3.7 Anslutningsschakt vid pumpstation Kosterögatan

För tunnelalternativ 1 utförs ett startschakt för mikrotunnling med 6-8 m diameter.

För tunnelalternativ 2 utförs anslutning direkt till huvudtunneln via ett vertikalt schakt med diameter ca 3 m.

8.3.8 Anslutningsschakt vid pumpstation Flintränegatan

För tunnelalternativ 1 utförs ett mottagningschakt för mikrotunnelaggregatet med 6-8 m diameter.

För tunnelalternativ 2 utförs ett anslutningsschakt direkt till huvudtunneln via ett vertikalt schakt med diameter ca 3 m.

8.3.9 Anslutningsschakt vid utjämningsmagasin i Föreningsgatan

Ett mottagningschakt för mikrotunnelaggregatet, med 6-8 m diameter utförs för båda tunnelalternativen.

8.3.10 Anslutningsschakt vid Rosendals pumpstation

För tunnelalternativ 1 utförs ett schakt med 6-8 m diameter för mottagning och återstart av mikrotunnelaggregatet.

För tunnelalternativ 2 utförs ett sänkschakt med diameter ca 20 m för montering av EPB-TBM samt för montage och start av mikrotunnelaggregatet. Schaktets utformning blir i princip samma som vad som beskrivits för schaktet vid Sjölanda avloppsreningsverk i avsnitt 8.2.3.2 ovan.

8.3.11 Anslutningsborrningar för ventilation

Anslutningsborrningar till huvudtunneln för ventilation utförs med grovhålsborrning med ca 0,8 m diameter, i princip lika med vad som gäller för anslutningsborrningarna för de mindre pumpstationerna.

8.4 Hantering av schaktmassor, vatten och utrustning

På alla arbetsplatser förutsätts att hantering av länsvat-
 ten/grundvatten måste ske i slutna system. Plats för tankar eller con-
 tainers måste därför finnas inom samtliga arbetsområden.

Vid de större schakten, d v s Sjölunda, Turbinen samt, vid tunnelal-
 ternativ 2, Skruvgatan och Rosendal, bedöms att aktiv grundvatten-
 sänkning och återinfiltration måste ske.

8.4.1 Arbetsplats Sjölunda

På arbetsplatsen vid Sjölunda sker montage av TBM och aggregat för
 mikrotunnling. Huvuddelen av tunnelsegmenten till huvudtunneln han-
 teras också här vilket innebär behov av upplagsytor. (Vid tunnelalter-
 nativ 1 sker all hantering av tunnelsegmenten här) Det är sannolikt
 lämpligt att även anordna mellanupplag för de tunnelsegment som vid
 tunnelalternativ 2 skall användas för byggandet av huvudtunneln mel-
 lan Rosendal och Skruvgatan. Vidare sker ventilationen av tunnlar
 som utgår från Sjölunda här och det behöver således anordnas plats
 för fläktar. Materialtillförsel till TBM, såsom injekteringsbruk för åter-
 fyllnadsinjektering mellan tunnelelement och bergväggen, transport-
 band, reservdelar samt maskinens kraftförsörjning sker också här. En
 blandningsstation för injekteringsbruket skall troligen också anordnas
 här. Betongen för gjutningen av huvudtunnelns botten kan däremot
 levereras från någon befintlig betongstation i Malmö.

All in- och utpassage av personal för tunneldrivningen sker också vid
 Sjölunda.

Huvuddelen av alla bormassor från huvudtunneln och, för tunnelal-
 ternativ 2, mikrotunneln till Spillepengen kommer också att ske här.
 Det är, med hänsyn till förekomsten av konditioneringskemikalier i
 bormassorna, troligt att en anläggning för behandling av massorna,
 innan de kan slutdeponeras, behöver anordnas vis Sjölunda. Det bör i
 detta skede förutsättas att alla bormassor, både från huvudtunneln
 och från anslutningstunnlar, skall behandlas på samma sätt före
 slutdeponering.

Montage och försörjning av mikrotunnelaggregat för tunnlarna till Flin-trännegatan (tunnelalternativ 1) respektive Spillepengen (tunnelalternativ 2) inklusive rördelar och schaktmassor skall också hanteras inom arbetsplatsen i Sjölunda.

8.4.2 Arbetsplats Turbinen

Vid Turbinen sker mottagning och demontering av TBM samt montage och start av mikrotunnelaggregat. Utrymme intill schaktet för mobilkran krävs för detta arbete.

Schaktmassor och rördelar för mikrotunneln under Turbinkanalen skall också hanteras.

På västra sidan av Turbinkanalen sker mottagning och demontering av mikrotunnelaggregat för borring av tunnel under Turbinkanalen. Plats för mobilkran erfordras.

8.4.3 Arbetsplats Rosendal

För tunnelalternativ 1 sker start och försörjning av mikrotunnelaggregatet för tunneldelen till Skruvgatan och till Föreningsgatan.

Här sker också hanteringen av schaktmassor och rördelar för tunneldelarna Rosendal – Föreningsgatan och Rosendal – Skruvgatan samt ventilationen av dessa tunneldelar.

För tunnelalternativ 2 skall TBM monteras och startas för tunneldrivningen till Skruvgatan. Vidare skall bormassor, tunnelsegment, ventilation, injekteringsbruk, transportband, personal och kraftförsörjning till TBM hanteras. Plats för upplag av olika material, bormassor, transportband, fläktar, m m samt mobilkran krävs. Det förutsätts att injekteringsbruk samt betong för tunnelbotten tillförs från Sjölunda respektive någon befintlig betongstation i Malmö.

Schaktmassor, rördelar och ventilation för mikrotunneln till Föreningsgatan skall också hanteras.

Buller från ventilationsanläggningen kan behöva dämpas genom inbyggnad av fläktarna.

8.4.4 Arbetsplats Spillepeng

För tunnelalternativ 1 hanteras och försörjs aggregatet för raise-borrning. Borrmassorna från raise-borrningens pilothål, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

För tunnelalternativ 2 sker mottagning och demontering av aggregatet för mikrotunneln från Sjölanda. Plats för mobilkran krävs intill schaktet.

Ungefär mitt på sträckan mellan Sjölanda och Spillepeng, mellan Spillepengsgatan och Segeå, sker service av mikrotunnel aggregatet. Plats för mobilkran krävs intill schaktet.

8.4.5 Arbetsplats Carlsgatan

För båda tunnelalternativen hanteras och försörjs aggregatet för grovhålsborrnig. Borrmassorna från borrnigen, foderröret, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

8.4.6 Arbetsplats Frihamnsallén

För båda tunnelalternativen hanteras och försörjs aggregatet för grovhålsborrnig. Borrmassorna från borrnigen, foderröret, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

8.4.7 Arbetsplats Skruvgatan

För tunnelalternativ 1 sker mottagning av mikrotunnelaggregatet för tunneldelarna från Kosterögatan till Skruvgatan respektive från Rosendal till Skruvgatan. Till detta krävs plats för mobilkran vid schaktet.

För tunnelalternativ 2 sker mottagning och demontering av TBM.

Utrymme intill schaktet för mobilkran krävs för detta arbete.

8.4.8 Arbetsplats Kosterögatan

För tunnelalternativ 1 sker montage, start och försörjning av mikrotunnelaggregatet för tunneldelen till Skruvgatan.

Här sker också hanteringen av schaktmassor och rördelar samt ventilationen av denna tunneldel. Plats för mobilkran vid schaktet krävs

Buller från ventilationsanläggningen kan behöva dämpas genom inbyggnad av fläktarna.

För tunnelalternativ 2 hanteras och försörjs aggregatet för grovhålsborrning. Borrmassorna från borrningen, foderröret, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

8.4.9 Arbetsplats Flintrännegatan

För tunnelalternativ 1 sker mottagning och demontering av mikrotunnelaggregat för tunneldelen från Sjölunda. Plats för mobilkran krävs vid schaktet.

För tunnelalternativ 2 hanteras och försörjs aggregatet för grovhålsborrning. Borrmassorna från borrningen, foderröret, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

8.4.10 Arbetsplats Föreningsgatan

För båda tunnelalternativen sker mottagning och demontering av mikrotunnelaggregat för tunneldelen från Sjölunda. Plats för mobilkran krävs vid schaktet

8.4.11 Arbetsplatser vid ventilationsschakt

För huvudtunneln hanteras och försörjs aggregatet för grovhålsborrning. Borrmassorna från borrningen, foderröret, ståltuben till schaktet samt cementbruket för fastinjekteringen av ståltuben skall också hanteras. Utrymmesbehovet blir därmed begränsat.

Ventilationsschakt bör i huvudsak kunna vara placerade invid planerade avloppsanslutningar.

8.5 Lokalisering av upplag eller deponier för schaktmassor

Man bör förutsätta att schaktmassorna behöver behandlas med avseende på vid tunneldrivningen eventuellt använda konditionerings-

kemikalier. Anläggning för behandling kräver utrymme vilket måste tillgodoses vid planering av arbetsplats.

Som nämnts i avsnitt 8.4.1 ovan förutsätts att alla schaktmassor från tunneldrivningen måste transporteras till arbetsplatsen vid Sjölanda för behandling innan de kan slutdeponeras.

Efter behandling bedöms massorna vara lämpliga att använda för markfyllning e d.

Uttagen schaktvolym uppgår, beroende på valt tunnelalternativ, till i storleksordningen 144 000 (alternativ 1) - 148 000 m³ (alternativ 2) fast volym vilket motsvarar ca 200 000 – 205 000 m³ utlagd fyllningsvolym efter packning (s k anbringad fyllning).

VA SYD har undersökt möjligheter för placering av massorna och av Malmö stad anvisats plats i Lindeängelund mellan Kastanjegården och Yttre ringvägen. Staden har aviserat att man kommer att ta ut en deponeringsavgift motsvarande 40 kr/m³ transporterade massor, d v s volym på lastbil. Den volym som kommer att transporteras och därmed belastas med deponiavgift kommer således att vara större än ovan angiven anbringad fyllningsvolym. Transporterad volym kommer att uppgå till mellan 255 000 och 260 000 m³ beroende på val av tunnelalternativ.

Samtliga schaktmassor måste dessutom först transporteras till Sjölanda för behandling.

8.6 Logistik och trafik

Vid genomförande av anläggningar av här aktuell natur genereras alltid ett omfattande transportarbete. Byggmaterial ska transporteras in till arbetsplatserna, maskiner och bodar m m ska både transportas in till och bort från arbetsplatserna. Schaktmassor och dylikt ska transporteras bort.

Transporter av denna karaktär sker i allmänhet med lastbil men man bör även överväga möjligheten att utnyttja järnväg där sådan finns.

Av de aktuella arbetsplatserna är det i princip endast Sjölanda som bedöms kunna nås med järnväg. Transporter av betongelement till tunneln skulle alltså kunna ske dit med järnväg. Tillverkning av betongelement skulle då kunna ske vid redan etablerad betongfabrik med anslutning till järnväg.

För transport till och från övriga arbetsplatser samt för transport av schaktmassor kommer man vara hänvisad till lastbil.

Anpassning av trafikapparaten vid de aktuella arbetsplatserna kommer även att erfordras.

I det följande diskuteras dessa logistiska problem översiktligt med tyngdpunkt på vägtransporter och anpassning av trafikapparaten vid de aktuella arbetsplatserna. Transport av schaktmassor diskuteras också särskilt eftersom det utgör det enskilt största transportbehovet.

8.6.1 Transport av schaktmassor

Samtliga schaktmassorna enligt avsnitt 8.5 ovan kommer då de behandlas med avseende på konditioneringskemikalier att transporteras från Sjölunda till deponin vid Lindängelund. D v s även de schaktmassor som genereras på andra ställen än vid Sjölunda måste först transporteras till Sjölunda för behandling se ovan avsnitt 8.5.

Vid tunnelalternativ 1 är det så mycket som 91 % som genereras vid Sjölunda och ca 3 % vid Rosendal medan övrig mängd hänför sig till övriga angreppspunkter med tyngdpunkt på Turbinen och Kosterögatan.

Vid tunnelalternativ 2 genereras ca 79 % vid Sjölunda, ca 14 % vid Rosendal och resterande mängd fördelas på resterande angreppspunkter med tyngdpunkt på Turbinen och Skruvgatan.

8.6.2 Villkor för transporter

Transporter bör styras till bestämda gator och vägar för att minska störningar för boende och verksamheter. De störningar som kan uppkomma, utöver försämrad trafiksäkerhet och tillgänglighet, är bl a buller, vibrationer, dammspridning m.m.

Vid fortsatt utredning bör transportvägar samt mängden lastbilar från respektive arbetsplats redovisas. Det kan bli aktuellt att begränsa transporter till vissa vägar och till vissa tider på dygnet.

8.6.3 Förutsättningar för arbeten vid eller på väg

Byggnationen av tunnel 2000 kommer att kräva inskränkningar och avstängningar av trafiken på gator och vägar.

De avstängningar som görs skall följa de regler som Vägverket och Malmö stad har beträffande arbete på väg. Ansökan om avstängning ställs till väghållaren. I de avstängningar som görs krävs vissa säkerhetsavstånd, vilket innebär utrymme för skyddsanordningar samt skyddsavstånd mellan dessa anordningar och schakter m m.

Det finns möjlighet att reducera hastigheten förbi vissa trånga arbetsplatser, för att kunna minska säkerhetsavstånden.

Säkerhetsavstånd som finns för respektive hastighet – 30, 50 och 70 km/tim – skall beaktas.

8.6.4 Beskrivning av åtgärder vid arbetsplatser

Nedan redogörs översiktligt vilka åtgärder som kan vara nödvändiga vid respektive arbetsplats. Åtgärderna skiljer sig åt mellan alternativ 1 och 2, men beskrivs gemensamt såvida de inte skiljer sig åt nämnvärt.

8.6.4.1 Sjölunda (Flintränegatan)

Arbetsplatsen påverkar Spillepengsgatan samt de angränsande gatorna Seskarögatan (ej öppen) och Ulvögatan. De kan behövas en gatuomläggning för att klara trafik verksamheter i området.

SYSAV m fl har infart i anslutning till arbetsplatsen.

8.6.4.2 Turbinen (Mariedalsvägen)

Arbetsplatsen påverkar främst Mariedalsvägen, men även Limhamsvägen/Citadellsvägen och i viss mån Tessins väg, Malmöhusvägen och Kung Oscars väg.

Gång- och cykeltrafik längs Mariedalsvägen kan behöva få utrymme i befintlig gata, vilket kan innebära vissa ombyggnader. Alternativt kan all gång- och cykeltrafik flyttas över till västra sidan av Mariedalsvägen, men det kräver förbättring av passager över vägen. Under sommaren kan kapacitetsproblem uppstå.

8.6.4.3 Rosendal (Stockholmsvägen)

Arbetsplatsen påverkar Drottninggatan, Hornsgatan och Stockholmsvägen (motorvägen). Det bör studeras hur infart och utfart till arbetsområdet skall se ut.

En lösning med infart via Hornsgatan, öster om Banverkets trafikledningscentral med utfart på samma plats borde vara en god lösning.

Trafiken bör ej ledas in i bostadskvarten via Byggmästaregatan och Östra Förstadsgatan. Störningen på dessa gator bedöms bli för stor.

Om det krävs utfart på Stockholmsvägen in mot centrum kan denna endast användas just som medlöpande utfart. Korsande trafik över motorvägen är ej rimligt.

8.6.4.4 Spillepeng

Arbetsplatsen påverkar främst Krusegatan, för att få en infart till arbetsplatsen. Inre ringvägen bedöms ej påverkas eftersom den ligger på tillräckligt stort avstånd från schakten.

Vissa mindre omläggningar och gång- och cykelvägar kan behöva göras.

8.6.4.5 Carlsgatan

Arbetsplatsen påverkar gatorna Neptunigatan/Stormgatan, Carlsgatan samt Skeppsbron. Arbetsplatsen kan komma att innebära inskränkningar i främst Carlsgatan och på Skeppsbron, vilka båda är lokala gator.

Arbetet med tunneln kan kräva samordning med ombyggnaden av den s k Postplatsen, en torgyta, väster om Posthuset.

8.6.4.6 Frihamnsallén

Arbetsplatsen påverkar Frihamnsallén, samt även Carlsgatan, Jörgen Kocksgatan och Grimsbygatan.

Jörgen Kocksgatan har en viktig funktion för trafiken till och från Västra hamnen. Denna trafik beräknas öka i takt med att Västra hamnen utvecklas. Byggtrafiken bör därför koncentreras till Grimsbygatan.

Området har mycket trafik till och från färjelinjen mot Travemünde. Det kan kräva viss ombyggnad av in- och utfartsvägen till färjeterrin. Det är även möjligt att färjetrafiken utvecklas eller har flyttat till annan plats i Norra hamnen, vilket innebär att en diskussion avseende rimliga åtgärder bör hållas med CMP.

8.6.4.7 Skruvgatan

Arbetsplatsen påverkar Krangatan, Skruvgatan och Västkustvägen. Det kan bli aktuellt med en ny infart till Skruvgatan för de verksamheter som under avstängningen inte kan nås via Krangatan. En ny utfart på Västkustvägen kan innebära att hastighetsbegränsningen bör flyttas till öster om den nya provisoriska infarten.

8.6.4.8 Kosterögatan

Arbetsplatsen påverkar Kosterögatan samt i viss mån Borrgatan där anslutning till gatunätet görs. Järnvägstrafiken påverkas ej.

8.6.4.9 Flintränegatan

Arbetsplatsen påverkar Flintränegatan. Gatan samt mittrefugen är breda, vilket ger plats för arbetsområdet. En reduktion av körbanan till ett körfält i varje riktning bedöms inte ge några framkomlighetsproblem.

8.6.4.10 Föreningsgatan

Arbetsplatsen påverkar främst Föreningsgatan och trafiken kring Värnhemstorget. Viss trafik kan ledas över till Drottninggatan och Nobelvägen.

Arbetsplatsen kommer att kräva att ett körfält i varje riktning tas i anspråk för arbetsområdet. Eventuellt kan av uppställningsplatser (parkering) att behöva slopas vid arbetsområdet.

9 Tillståndsfrågor och miljökonsekvenser

9.1 Allmänt

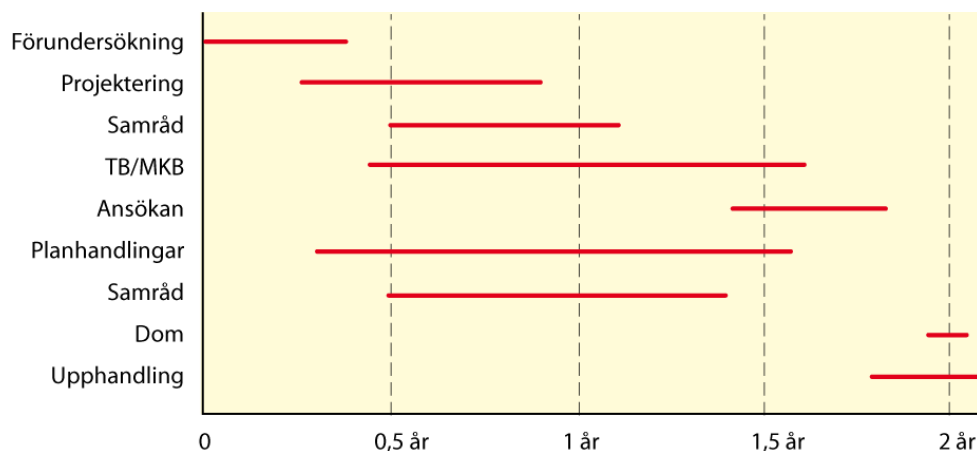
Detta kapitel belyser vilka tillstånd som erfordras för tunnelns genomförande enligt gällande lagstiftning. Kapitlet behandlar vilka handlingar och dokument som krävs för att tillståndsansökningarna skall vara kompletta. I detta avsnitt behandlas också översiktligt frågeställningar avseende miljö och miljökonsekvenser som bör belysas och beaktas i det kommande arbetet för Tunnel 2000. Genom att i ett tidigt skede integrera dessa frågeställningar minskar riskerna för negativa överraskningar och eventuella förseningar längre fram i projektet.

Ansökan skall spegla mål och verksamhet i projektet. Det är sökande som styr tillståndsprocessen och anger vad tillstånd ska sökas för och vilka avgränsningar som föreslås. Synpunkter på detta lämnas sedan av myndigheter och berörda. Innan ansökningshandlingar tas fram är det av vikt att verksamhetsutövaren har avgränsat den verksamhet för vilken tillstånd söks för och har en uppfattning om vilken sträckning, metod m m som ska tillämpas. Generellt kan sägas att ju fullständigare handlingar som presenteras i en tillståndsansökan desto snabbare blir handläggningen. Även de villkor som ges i samband med en dom är beroende av hur väl verksamhetsutövaren har beskrivit den sökta verksamheten och dess konsekvenser.

Man kan knappast vinna tid i tillståndsprocessen, däremot riskerar man att förlora mycket tid om inte processen genomförs på ett korrekt sätt. Tillståndsförfarandet består av olika steg. En lärdom från andra projekt är att man ska starta tillståndsprocessen så fort som möjligt och samråda med berörda myndigheter. Två olika tillståndspår måste avklaras:

- Tillstånd enligt miljöbalken (MB)
- Tillstånd enligt plan- och bygglagen (PBL)

En översiktlig tidplan för genomförande av tillståndsprocessen visas i figur 13 nedan.



Figur 13 Diagrammet visar översiktligt de olika momenten i tillståndsansökan och hur dessa fördelas över tid.

9.2 Tillstånd enligt miljöbalken

I samband med anläggandet av tunneln kommer flera aktiviteter att kräva tillstånd enligt MB. Anläggande av angreppsschakt och tunneldrivningen kan förväntas medföra grundvattenbortledning i varierande grad beroende på de givna geologiska förhållandena och vidtagna skyddsåtgärder. Enligt 11 kap MB är bortledning av grundvatten en tillståndspliktig verksamhet.

Prövningsinstans för vattenverksamhet är miljödomstolen. De frågor som hanteras inom ramen för 11 kap. MB är främst grundvattenpåverkan (influensområden, flöden, uttagsmängder, skadeförebyggande åtgärder i form av återinfiltration i), eventuell ytvattenpåverkan (hamnen, Malmö kanalsystem, Sege å) samt sättningar.

Anläggandet av tunneln kommer också att innebära olika typer av miljöfarlig verksamhet enligt 9 kap MB. Det rör sig främst om hantering av avfall och kemikalier, utsläpp av olika typer av avloppsvatten, hantering av massor, luftburet buller och stömljud, vibrationer, utsläpp till luft, luktproblem och transporter. Det troliga är att merparten av dessa arbeten var för sig endast är anmälningspliktiga till den kommunala nämnden för miljö- och hälsoskyddsfrågor.

I prövningen av Citytunneln valde Banverket att även låta pröva dessa i huvudsak anmälningspliktiga miljöfarliga verksamheter samtidigt med vattenverksamheten. Miljödomstolen prövade då den sammanvägda påverkan av vattenverksamheten och den miljöfarliga verk-

samheten. I domen angav miljödomstolen villkor för både byggskede och drift av tunneln.

9.2.1 Erfarenhet från Citytunnelprövningen

Den samlade erfarenheten från inblandade aktörer av den samtidiga prövningen enligt 9 och 11 kap MB är i huvudsak god. Samtliga moment och potentiella störningskällor var sökande tvungen att gå igenom och belysa i miljökonsekvensbeskrivningen. Sökanden var även tvungen att formulera förslag på villkor för verksamheten samt hur man skulle följa upp dessa i kontrollprogram. Den samlade prövningen, med både vattenverksamhet och miljöfarlig verksamhet, medförde att alla tänkbara effekter av projektet belystes. Vidare blev inblandade aktörer med olika kompetens tvungna att i planeringsskedet beakta och finna lösningar på eventuella problemställningar. Resultatet är att man under byggskedet har haft förhållandevis få förseningar. Detta kan givetvis inte helt tillskrivas prövningsprocessen, men den har säkert haft en viktig roll. En god planering och uppföljning samt en framsynt riskhantering påverkar självklart framdriften i hög utsträckning.

Det bör emellertid poängteras att det inte har varit några stora överraskningar vad gäller uppkomna problem avseende uppföljningen av tillstånd och villkor samt att handläggningstiderna hos tillsynsmyndigheterna har varit korta. En anledning till det senare är att man under hela byggprocessen har haft täta möten med tillsynsmyndigheterna, som därigenom varit uppdaterade om den löpande driften av tunneln. Detta är ett tillvägagångssätt man med fördel bör tillämpa i det nu aktuella projektet med Tunnel 2000.

9.2.2 Samråd

Tillståndsansökan föregås av ett samrådsskede då olika alternativ, såväl vad gäller lokalisering som utformning, skall vara belysta. Sökande ska också visa ett nollalternativ som innebär att åtgärden inte genomförs. Konsekvenserna av de olika alternativen i samrådsskedet måste belysas översiktlig i en miljökonsekvensbedömning.

En **samrådsgrupp** bildas med fördel med berörda myndigheter, främst Malmö miljöförvaltning, stadsbyggnadskontoret och länsstyrelsen. Eventuellt bör man fundera på om även andra myndigheter ska involveras i det tidiga samråds- och planeringsskedet. Syftet med detta är att tillsynsmyndigheterna i ett tidigt skede kan föra upp viktiga frågor. På så sätt kan man undvika onödigt tidsspill och nödvändiga

undersökningar utförs på rätt plats vid rätt tillfälle samtidigt som tillsynsmyndigheterna löpande hålls informerade.

Det formella samrådet som ska genomföras enligt miljöbalken är ett **samråd enligt 6 kap MB**. Med beaktande av projektets storlek och potentiella påverkan ska man redan nu räkna med att projektet kommer antas innebära en betydande miljöpåverkan. Således kommer även ett utökat samråd att krävas.

Det formella samrådet enligt 6 kap MB kan inte komma igång förrän man har en hyfsad uppfattning om var tunnelsträckningen och angreppspunkter ner till tunneln kommer att vara lokaliserade. Det innebär att förundersökningar (provp borrningar, provpumpningar etc) samt utvärdering av dessa måste ha påbörjats. Även andra parametrar som tillgänglighet och omgivningspåverkan kan vara styrande parametrar vid val av lokalisering, vilket bör beaktas under arbetets gång. Om man inte lyckas definiera tunnelns olika anläggningar inför samrådet är risken att samrådsgruppen blir väldigt stor samtidigt som många olika alternativ måste belysas avseende omgivningspåverkan. Det kan medföra att utredningsarbetet blir onödigt stort. Således är det viktigt att tämligen snabbt bestämma tunnelns dragning och anslutningspunkternas placering.

Sökande skall lämna in en samrådsredogörelse till länsstyrelsen. I detta fall är sökande skyldig att inhämta yttrande från berörda tillsynsmyndigheter och de enskilda som särskilt berörs. Om verksamheten medför betydande miljöpåverkan ska samråd hållas med en större krets som, utöver länsstyrelsen, tillsynsmyndigheten och de enskilda som särskilt berörs, är övriga statliga myndigheter, de kommuner, den allmänhet och de organisationer som kan antas bli berörda.

9.2.3 Hantering av samråd

Samrådsprocessen genomförs parallellt med framtagande av ansökningshandlingarna. Samrådsgruppen med berörda myndigheter bör initieras så fort som möjligt när det är beslutat att man ska starta en utredning om att genomföra projektet. Samrådsskedet med övriga berörda utförs lämpligen med en utställning. I tidsschemat ligger det under samma skede som man tar fram tekniska beskrivningen och MKB, se ovanstående figur.

Med beaktande av projektets natur bör man försöka genomföra det inledande samrådet ganska summariskt och sedan lägga den stora arbetsinsatsen i det utökade samrådsskedet. Kungörelse (annons-

ring om samrådet) och genomförande av det utökade samrådet bör ske i början av framtagandet av teknisk beskrivning och MKB. Samrådsskedet där berörda har möjlighet att inkomma med synpunkter löper över minst tre veckor. Det är lämpligt att man har en utställning samt någon eller några dagar då denna är bemannad med specialistkompetens inom olika ämnesområden, en form av "Öppet hus" under det utökade samrådet.

9.2.4 Tillståndsansökan

Inför tillståndsansökan enligt miljöbalken måste den slutliga tunnelsträckningen och angreppspunkter vara bestämda. Vidare ska det finnas ett utförligt tekniskt underlag samt en beskrivning av miljökonsekvenserna för ansökt alternativ.

Avseende bortledning av grundvatten enligt 11 kap MB är det en fråga som endast kan prövas av miljödomstolen. Lämpligen väljer man även att låta pröva tillhörande miljöfarliga verksamheter enligt 9 kap MB i miljödomstolen för att därigenom få en samlad prövning av anläggningsverksamheten. Nedan följer en listning över vilka olika tillstånds- och anmälningspliktiga delar enligt miljöbalken som Tunnel 2000 kan medföra:

En **teknisk beskrivning (TB)** av verksamheten krävs. Denna baseras avseende vattenverksamheten i stor grad på de förundersökningar om de geologiska, hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena som behöver utföras initialt. I TB redovisas även valda byggmetoder, dimensioner, ritningar etc. I TB redovisas också risk för sättningar samt val av skadeförebyggande åtgärder för att minska negativ påverkan samt hur dessa åtgärder tekniskt utförs. Även de miljöfarliga verksamheterna beskrivs avseende hantering av avfall och kemikalier, utsläpp av olika typer av avloppsvatten, hantering av massor, luftburet buller och stömljud, vibrationer, utsläpp till luft, luktproblem och transporter.

En **miljökonsekvensbeskrivning (MKB)**, som alltid ska följa med en tillståndsansökan, beskriver de konsekvenser som verksamheten kommer att medföra, både avseende vattenverksamheten och den miljöfarliga verksamheten. I MKB ska även nollalternativ och alternativa lösningar belysas. Verksamhetens påverkan under både bygg- och driftskede ska vara utredda och redogjorda för i MKB. Bland annat ska MKB belysa påverkan på människors hälsa och miljö, grundvatten, ytvatten och den fysiska miljön och med beaktande av olika typer av skyddsåtgärder. Syftet är även att möjliggöra en samlad be-

dömning av effekterna. Det är i denna del även viktigt att belysa de positiva effekterna av projektet och följdkonsekvenserna av dessa, bl a avseende vattenmiljö.

9.2.5 Uppskattad tidsram för tillståndsansökan

Underlaget för tillståndsansökan tas fram i flera olika steg där man successivt skaffar sig en större kunskap om förhållandena och projektets påverkan. Kortfattat kan processen innefatta nedanstående steg.

- Förundersökning, inklusive inledande studier av befintligt material samt genomförande av provborrningar och provpumpningar vid planerade angreppsschakt och i tunnellen, utvärdering av resultat
- Projektering i form av bl a fördjupade provborrningar och provpumpningar i utvalda lägen utifrån resultatet av de inledande undersökningarna samt utvärdering av dessa resultat. Projektering av sträckning, metod m m.
- Framtagande av TB och MKB samt framtagande av ansökan till miljödomstolen
- Ansökan med allt underlagsmaterial skickas in till miljödomstolen.

Erfarenheter från genomförande av liknande projekt visar att tiden för ovanstående process är i storleksordningen 2-3 år. Under denna tid avklaras även samrådet. Arbetsordningen redovisas summariskt ovan i tabellform. Det ska tilläggas att ansökningshandlingarna bygger på resultatet av projekteringen och löper parallellt med projekteringsfasen.

Därefter kommer man in i fasen då den tillståndsgivande myndigheten, i detta fall miljödomstolen vid Växjö tingsrätt, blir involverad. Processen vid miljödomstolen inbegriper att ärendet först kommer att skickas ut till berörda myndigheter för begäran av eventuella kompletteringar. Miljödomstolen begär sedan att sökanden kompletterar ansökningshandlingarna utifrån de inkomna skrivelserna och domstolens egna synpunkter. Sökanden tar fram kompletterande uppgifter och sänder till Miljödomstolen som skickar ut ärendet för yttrande. Därefter sker huvudförhandling i miljödomstolen och miljödomstolen avkunnar dom.

Detta innebär en total tid för handläggning vid Miljödomstolen fram till avkunnad dom på ca 1 år, denna tid kan dock variera och är beroende på handlingarnas detaljeringsgrad m m.

9.3 Tillstånd enligt plan- och bygglagen

För att kunna få rådighet över mark där anläggningarna ska utföras måste VA SYD inhämta avtal om nyttjanderätt eller servitut från befintliga markägare. Vidare måste flera befintliga detaljplaner ändras för att möjliggöra byggandet. Ändringarna i detaljplanerna kan och bör ske parallellt med tillståndsprocessen enligt MB. Således krävs det även för denna hantering att man vet var tunneln ska gå fram och var angreppsschakten kommer att finnas i markytan. Det ska här tilläggas att fastställd detaljplan utgör förutsättning för tillstånd för vattenverksamhet enligt MB.

9.3.1 Malmö stads planering för området

För den nu föreslagna sträckningen av tunneln finns både övergripande mer visionära planeringsstrategier och rättsligt bindande detaljplaner att beakta.

I **Malmö översiktsplan** 2000 anger kommunen följande målsättning för VA-hantering:

- VA-verksamheten skall vara kretsloppsanpassad och driftsäker och befintliga anläggningar skall utnyttjas effektivt.

I översiktsplanen konstateras att Malmö avloppsreningsverk har kapacitet för betydande utbyggnad av bostäder och verksamheter. Samtidigt konstaterar kommunen att belastningen på avloppssystemet i centrum kommer att öka, då nyttillkommen bebyggelse medför ökad dagvattenavrinning vilket belastar det kombinerade systemet med gemensamma ledningar för spillvatten och dagvatten. Därför vill kommunen öka andelen lokalt omhändertagande av dagvatten i nya utbyggnadsområden. För att minska risken för överbelastning och källaröversvämningar bygger VA SYD ut samlingsledningar som leder dagvatten från ytterområdena genom områdena med kombinerat avloppssystem direkt till recipienten. Som komplement härtill utökas lokalt omhändertagande av dagvatten på tomtmark och öppen avledning av dagvatten på allmän platsmark.

Kommunen konstaterar också i översiktsplanen att det finns en ökad sårbarhet i kommunen genom att storskaliga försörjningssystem, t ex

el, vatten och avlopp, kan medföra omfattande skador vid driftavbrott. Åtgärder för att begränsa denna typ av risker kan vara att dela upp systemen i mindre delar och att dubblera viktiga funktioner.

Malmö stad har tagit fram en **fördjupning av översiktsplanen** för Nyhamnen. Denna ställdes ut vid årsskiftet 2006-2007. I denna beskrivs kommunens vision om framtida markanvändning i området just mellan järnvägscentralen och Frihamnen. Den sträckning som tunneln föreslås få sammanfaller ungefär med dagens Jörgen Kocksgata som enligt fördjupningen ska omformas till ett smalt parkstråk som löper genom ett bostadsområde med inslag av kontor/service.

Även för andra delar längs med den föreslagna tunnelsträckningen har Malmö stad planer på omfattande stadsförnyelse. Enligt tidningen *Planering i Malmö stad* nr 1 år 2008 ska visionsarbete för omvandling av Kockumsområdet till blandad stadsbebyggelse påbörjas för att kunna börja realiseras år 2013, då Kockums verksamhetstillstånd löper ut.

Utmed sträckningen finns en mängd olika **detaljplaner**. Det är främst kring angreppspunkterna, där markingrepp kommer att ske och därmed detaljplanerna behöver ändras. Kontakt bör tas tidigt med stadsbyggnadskontoret för att granska befintliga detaljplaner och komma fram till lämpliga angreppspunkter.

9.3.2 Uppskattad tidsram för planprocessen

Då tunnelsträckningen och platserna för angreppspunkterna är bestämda kan arbetet med ändring av befintliga detaljplaner påbörjas. En planprocess kan inledas med planprogram där de övergripande strukturerna studeras och läggs fast. Detta är framförallt viktigt då intentionerna i översiktsplanen inte följs, eller då det är omfattande förändringar som föreslås. Planprogram bör dock inte behövas i detta fall.

- **Samråd om betydande miljöpåverkan.** Enligt MB 6 kap 11 § ska även detaljplaner åtföljas av en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) i de fall då detaljplanen kan anses medföra betydande miljöpåverkan. Det är kommunen som avgör ifall detaljplanen kan komma att medföra betydande miljöpåverkan, men samråd ska ske med bl a länsstyrelsen inför kommunens ställningstagande. Detta samråd ska ske tidigt i processen. Om en MKB krävs för de detaljplaneändringar tunneln medför bör denna till stor del kunna samordnas med MKBn för

tillståndet enligt 9 och 11 kap MB. Detta inledande arbete beräknas ta ca en månad, men detta är givetvis beroende av antalet detaljplaner som måste ändras.

- **Framtagande av planhandlingar.** Framtagande av förslag till ändring av detaljplan, vilken innehåller planbeskrivning, plankarta och genomförandebeskrivning. Beroende av utfallet av samrådet om betydande miljöpåverkan krävs eventuellt även en MKB. Detta arbete bör kunna genomföras på ca fyra månader.
- **Samråd om detaljplan och eventuell miljökonsekvensbeskrivning.** Planförslagen med eventuellt medföljande MKB sänds ut på samråd till myndigheter och sakägare för synpunkter. Samrådet beräknas ta ca en månad.
- **Revidering av detaljplan och eventuell miljökonsekvensbeskrivning.** Synpunkter som kom in under samrådet samlas i en samrådssammanställning och förslag till ändringar inarbetas i detaljplanerna och i den eventuella MKBn. Detta arbete bör kunna genomföras på ca två månader.
- **Utställning av detaljplan och eventuell miljökonsekvensbeskrivning.** De reviderade planförslagen ställs ut för synpunkter. Utställningen beräknas ta ca en månad.
- **Antagande av detaljplan.** Synpunkter från utställningen sammanfattas i ett utställningsutlåtande. Mindre förslag till ändringar inarbetas i detaljplanerna varefter den kan antas. Om det krävs större förändringar av planförslaget i detta skede, bör den ställas ut på nytt, vilket dock inte är vanligt. Detta skede bör kunna genomföras på ca två månader.

Utifrån ovanstående tidplanering bör detaljplanerna kunna tas fram på ca ett år, men detta förutsätter en optimal planering utifrån kommunens nämndsmöten och att inga komplicerade frågor dyker upp sent i processen. Dessutom ska detaljplaneringen samordnas med tillståndsansökan enligt MB, vilket troligen medför en mindre optimerad tidplanering för den enskilda detaljplaneprocessen, men medför tidsvinster för projektet i stort. Med beaktande av projektets omfattning ska man inte räkna med en optimal och okomplicerad handläggning av planärendena.

Framtagande av planförslag och slutligen nya detaljplaner kan således ta alltifrån ett år och uppåt att få fram. En väl genomförd planprocess är viktig för att undvika eventuella överklaganden på detaljplanen, då den rättsliga prövningen av en överklagad detaljplan kan ta från ett år och uppåt.

9.4 Miljökonsekvenser

Generellt kan sägas att ett flertal miljökonsekvenser måste beaktas såväl under byggtiden som under driftsfasen. Huvuddelen av konsekvenserna bedöms uppkomma i byggskedet. En beskrivning av konsekvenser ska fogas till ansökningshandlingarna, se ovan.

Miljökonsekvenserna blir naturligtvis olika omfattande beroende på den teknik som används. Vidare är miljökonsekvenserna beroende av drivriktningen som antas bli från Sjölunda. Där mikrotunnel används kommer konsekvenserna att bli mindre jämfört med konsekvenserna i anslutning till angreppsschaktet där massor ska transporteras ut. Detta på grund av att tekniken medför ett mindre ingrepp.

Nedan anges de huvudsakliga miljökonsekvenserna som måste beaktas, utredas och beskrivas vid tillståndsansökan för tunnelbygget i enlighet med de krav som ställs i gällande lagstiftning. Avgränsningen av miljöaspekter som måste behandlas är olika beroende på om tillstånd söks enligt kapitel 9 eller 11 i MB eller om en detaljplan ska ändras eller upprättas.

9.4.1 Avgränsning av miljöaspekter

Det är av stor vikt att de miljöaspekter som ska belysas avgränsas i ett tidigt skede i projektet och redovisas i samband med samråd. Avgränsningen ska spegla de krav som ställs på handlingarna. En för snäv avgränsning kan leda till att processen måste göras om på grund av att några aspekter inte har belysts. En allt för vid avgränsning medför ett stort utredningsansvar och medför bland annat risk för krav och villkor som sökande inte kan kontrollera. Denna diskussion kring avgränsning måste således göras tidigt och i samråd med beställaren. I Citytunnelprojektet så innefattades endast transporter inom verksamhetsområdet och inte utanför detta, vilket medförde att endast dessa hanterades inom ramen för MKBn.

9.4.2 Masshantering

Huvuddelen av massorna kommer att uppkomma i anslutning till Sjö-lunda och en mindre del i övriga angreppspunkter vid Turbinen, Rosendal och Spillepeng som i sig kräver större schakt. I övriga angreppspunkter (Föreningsgatan, Carlsgatan, Frihamnsallén, Skruvgatan, Kosterögatan samt Flintränegatan) kommer relativt små mängder massor att uppkomma. Generellt kan sägas att det i nuläget inte finns något självklart område i Sjölundas närhet för uppläggning eller annat nyttiggörande av uttagna massor. Vid Sjölanda kommer dock samtliga schaktmassor att hanteras och behandlas med avseende på eventuellt förekommande konditioneringskemikalie.

VA SYD har i kontakt med Malmö stad anvisats Lindängelund för upplag av massor. Staden behöver där massor för utfyllnad och man beräknar kunna hantera hela den beräknade volymen där. I övrigt bör beaktas att massorna hanteras på sådant sätt och läggs upp på sådan plats att de inte kan riskera att kontaminera kringliggande områden.

9.4.3 Trafikfrågor, utsläpp till luft

Projektet kommer att kräva omfattande transporter, både av material till tunnelbygget och även borttransport av massor. Beträffande avgränsning, se ovan.

Transporterna rör främst schaktet vid Sjölanda där den absoluta huvuddelen av massorna kommer att tas ut och omfattande transporter kommer att krävas. Till detta tillkommer transporter av material (tunnelsegment etc) för de installationer som krävs inne i själva tunneln. Trafikfrågan beror givetvis på var massorna ska deponeras och hur trafiken kommer att fördelas. Transporterna ger upphov till utsläpp till luft, risker och buller, vilket måste belysas i handlingarna.

Ingen miljökvalitetsnorm är på gränsen att överskridas vid Sjölanda, dock måste detta beaktas vid val av transportvägar. I anslutning till Föreningsgatan är luften hårt belastad, vilket bör beaktas vid val av transportvägar för de arbeten som planeras där.

Risker bör beaktas vid planering och val av transportvägar eftersom det är omfattande transporter som ska genomföras. Om möjligt bör transport genom områden med många oskyddade trafikanter och bostadsområden undvikas.

9.4.4 Buller, vibrationer

Buller kommer att uppkomma i samband med såväl själva arbetet med schakt och tunneldrivning som vid hantering av material och massor. Vidare uppkommer buller i samband med transporter.

Sjölunda ligger i ett redan hårt exploaterat industriområde med relativt tung industri. Inga närboende finns som kan komma att störas av eventuella bullrande arbeten. Viktigt är dock att hantera och planera trafikflödet på ett sätt som minimerar buller och andra störningar. Bullerutredning bör genomföras för att säkerställa att riktvärden innehålls och att erforderliga åtgärder vidtas.

Vibrationer kan uppkomma i samband med arbetena. En inventering bör genomföras för att klargöra om det finns bostäder eller verksamheter, t ex industrier med processer som är vibrationskänsliga, i området längs sträckningen och i första hand i anslutning till de stora schakten.

9.4.5 Grundvatten

Påverkan på grundvattnet beror bl a av jord- och berglager och dessas vattenföring, djupet på vilken tunneln anläggs, metoden som används. Grundvattensänkning i samband med angreppsschakt är en fråga som kräver en grundlig genomgång. Området kring Sjölunda är utfyllt i Öresund och ligger i anslutning både till havet och utloppet för Sege å. Således finns det risk för att området kan vara kraftigt vattenförande både i jordlager och i kalkberggrunden. Även om spontning, slitsmurar eller dylikt anläggs kommer det krävas en grundvattensänkning i området. Det troliga är också att denna måste kombineras med återföring av grundvatten för att minska influensområdet och risken för störning på närliggande verksamheter. Man måste även belysa eventuell påverkan på förhållandena i Sege å vid avledande av vatten som inte går att återföra till grundvattenmagasinet (det som kallas övrigt avloppsvatten i Citytunneln). Detta talar för hellinat schakt.

Vid "maskinell schaktsänkning" med vattenfyllt schakt och segmental lining i hela schaktet bör påverkan på grundvattnet kunna begränsas starkt. Det gäller i så fall samtliga schakt utom start- och mottagningsschakten för huvudtunneln.

Drivning genom områden med borrar för uttag av energi ur marken eller liknande bör undvikas. En inventering av detta bör genomföras.

9.4.6 Sättningar

Sättningskänsliga byggnader som kan komma att påverkas av grundvattensänkningen måste inventeras avseende grundläggningsförhållanden. Risken för sättningar kan minimeras med åtgärder (slitsmurar och grundvattenåterföring t ex).

9.4.7 Föroreningar

Föroreningsspridning i samband med såväl schaktning av massor som rundpumpning/avledning av vatten måste belysas i utredningsarbetet. Med beaktande av närheten till både Spillepengen och Oljehamnen (och andra eventuella områden som är förorenade) kan detta bli en stor fråga i projektet. Om föroreningar påträffas kan det bli problematiskt att få tillstånd att återföra ett förorenat vatten. Denna fråga måste belysas i samband med förundersökningarna. Kontakt bör även tas med miljöförvaltningen, SYSAV, CMP m fl för att samla in så mycket kunskap som möjligt om kända föroreningar i området.

9.4.8 Natur- och kultur

Påverkan på angränsande natur- och kulturvärden måste beaktas. Sjölunda ligger nära mynningen av Sege å och Öresundskusten. Eventuellt kan förorenat vatten från arbetsområdet nå dessa recipienter.

9.4.9 Ljus

Delar av arbetsområdena kring schakten kan komma att vara upplysta under stora delar av dygnet, vilket kan medföra störningar på angränsande bostäder. Detta bör om möjligt beaktas vid placeringen av ljuskällor.

9.4.10 Lukt

Lukt bedöms i första hand uppkomma i samband med driften. Ventilationsschakt bör planeras med hänsyn till kringliggande bostäder och verksamheter samt förses med gängse åtgärder för att minimera störningar.

9.5 Positiva miljöeffekter då tunneln är utförd

Om man bygger en tunnel såsom skisserats i denna rapport erhåller man även flera positiva inverkningar på miljö och arbetsmiljö. Dessa aspekter redovisas nedan.

9.5.1 Reduktion av bräddning

Genom utförande av en tunnel skulle bräddvolymerna från det kombinerade ledningssystem som är anslutet till Sjölunda avloppsreningsverk minska med i storleksordningen 75 %. Till recipienterna innerstadskanalen och Östra hamnen skulle minskningen bli ca 90 % och till Sege å ca 50 %, se bilaga 3.

9.5.2 Minskning av risk för översvämning

De tre större avloppspumpstationerna har de senaste åren vid kraftiga regn haft dämningssystem med tillhörande översvämningar i källarfastigheter närmast pumpstationerna. Sedan år 2005 uppgår skadeersättningskrav från drabbade fastigheter till ca 7 MSEK varav den största delen kommer från drabbade fastigheter vid Kronprinsen. Dess översvämningssystem skulle försvinna ifall tunneln utförs.

9.5.3 Jämnare belastning på Sjölunda avloppsreningsverk

Ett av syftena med tunneln är att den ska utgöra utjämningsmagasin för avloppsvatten. Detta innebär att Sjölunda avloppsreningsverk kommer att få en jämnare belastning flödesmässigt. En jämnare belastning flödesmässigt innebär i sin tur att behandlingsresultatet kan bli bättre sett över tiden och att kemikalieförbrukning t ex kan minska.

9.5.4 Förbättrad säkerhet

Den nuvarande sträckningen av de allt äldre tryckavloppsledningarna leder under stora delar av Malmö bangårdsområde och intill den snart färdigställda Citytunneln. Genom att bygga tunneln skulle den säkerhetsrisk som ett ledningshaveri utgör för järnvägsanläggningarna kunna elimineras.

En tunnel skulle även ge betydligt bättre möjligheter för inspektion och underhåll än dagens slutna tryckavloppssystem.

9.5.5 Förbättring av tillgänglighet till byggbar mark

Eftersom de stora tryckavloppsledningarna kommer att tas ur drift om tunneln anläggs kommer de områden som korsas av dess ledningar att få en bättre tillgänglighet vad gäller exploatering för bebyggelse.

9.5.6 Bättre avbördningssystem

De äldre tryckavloppsledningarna kommer att inom en snar framtid behöva renoveras eller bytas ut. Detta arbete kommer att vara mycket komplicerat och förenat med föroreningsrisker eftersom avloppsvattnet hela tiden måste kunna föras vidare till Sjölunda avloppsreningsverk. Kostsamma problem kan komma att uppstå vid regntillfällen. Med en tunnel skulle detta helt elimineras.

9.5.7 Förbättring av arbetsmiljön

Den nya pumpstationen vid Sjölunda kommer att byggas enligt dagens krav på en bra arbetsmiljö för driftpersonalen. Detta ska jämföras med de befintliga äldre pumpstationerna där arbetsmiljön ofta är besvärlig.

Tunnelsystemet skulle eventuellt även kunna övervakas med webbkameror varmed driftpersonalens nedgång i själva tunneln endast skulle behöva ske då en verklig störning inträffar.

9.5.8 Reduktion av antalet bilresor

Genom att driften centraliseras till en pumpstation kommer bilkörningen för driftpersonalen att reduceras väsentligt vilket innebär mindre belastning på miljön.

10 Kostnadsbedömning

10.1 Allmänt

Samtliga kostnader nedan är beräknade i 2008 års prisnivå.

10.2 Anläggningskostnader

10.2.1 Projekteringskostnader

10.2.1.1 Fältundersökningar, steg 1

Kompletterande undersökningar för att bättre kunna bedöma tunnel-läge i plan och profil utgörs bl a av olika mark- och bergundersökningar som redovisats ovan. Även inventeringar av förekomst av brunnar inklusive energibrunnar, befintliga byggnaders grundläggning m m bör genomföras. Kostnaden för genomförande av förundersökningar av denna art har bedömts till ca 8 MSEK. De bör kostnads-mässigt primärt belasta tunnelanläggningarna.

10.2.1.2 Projektering

Kostnad för projektering av stora anläggningar brukar i allmänhet kunna relateras till byggkostnaden för aktuell anläggning med en given procentsats. Normala värden brukar därvid vara 5 – 10 % beroende på anläggningsstorlek med den lägre siffran gällande för de riktigt stora projekten. Hit bör även Tunnel 2000 räknas. Kostnaden har således bedömts motsvara 5 % av byggkostnaden, d v s 51 MSEK med fördelning på byggdelar enligt deras respektive andel av den totala byggkostnaden.

10.2.2 Byggherrekostnader

10.2.2.1 Kostnader för hantering av tillståndsfrågor

Tillståndsfrågorna bör ges hög prioriteringsgrad i ett projekt av denna art. En väl genomförd tillståndsprocess är nämligen positivt för projektets framdrift i byggskedet vilket Citytunnelprojektet är ett bra exempel på. Kostnaderna som kan hänföras till hantering av tillståndsfrågor är alltid svåra att bedöma och är bl a avhängiga vilket utredningsbehov som kommer att föreliga samt vilka motstående intressen som är aktuella. I denna utredning har vi bedömt att kostnaden kan variera mellan ca 5 och 10 MSEK. Den senare siffran har använts i sammanställningen nedan. Kostnaden kan i huvudsak hänföras till undermarksanläggningarna.

10.2.2.2 Kostnader för trafikomläggningar

10.2.2.3 Byggledning och kontroll

Om tillståndshanteringen har genomförts på ett gott sätt kan man med erfarenhet från Citytunnelprojektet räkna med en något lägre kostnad för byggherrens organisation i projekterings- och byggskede. Vanligen räknar man med ca 12 % av byggkostnaden för detta. I denna utredning har vi kalkylerat med en kostnad 10 % av byggkostnaden vilket skulle innebära ca 100 MSEK. Kostnaden bör fördelas på respektive anläggningsdel med avseende på deras respektive del av den totala anläggningskostnaden.

10.2.3 Byggkostnader

Kostnaden för tunnelalternativ 2 blir lägre än för tunnelalternativ 1. Det skiljer ca 55 MSEK. I alternativ 2 är även längden för mikrotunnlar kortare än i alternativ 1. Det enda som tillkommer för alternativ 2 är att det blir fler stora anslutningsschakt men kostnaden för dessa är ej av avgörande storlek. I sammanställningen nedan har därför tunnelalternativ 2 behandlats.

10.2.3.1 Huvudtunnel

Huvudtunneln som i alternativa 2 ju består av två avsnitt, Turbinen till Sjölunda respektive Rosendal till Skruvgatan, har beräknats av Bambererde Engineers GmbH till 67 640 000 €, se bilaga 9 vilket med nuvarande kurs motsvarar 676 MSEK. De har dock i sin beräkning gjort ett påslag om 15 % för utökade kostnader fram till projektstart varför summan bör reduceras till 588 MSEK.

10.2.3.2 Anslutningsschakt

Anslutningsschaktens storlek varierar beroende på ändamål och storlek på ansluten enhet. Kostnaden för utförande av schakten är också till stor del beroende av de geologiska och bergtekniska förhållandena. I kostnaden har upptagits risktillägg främst för bergschakt (risk för mycket flinta) samt för injektering för bergtätning. Detta tillägg uppgår till ca 25 % av total kostnad för schakten.

Sjölunda	11,6 MSEK
Turbinen	9,5 MSEK
Rosendal	12,8 MSEK
Skruvgatan	9,5 MSEK
Spillepeng (2 schakt)	22,2 MSEK
Kosterögatan	4,3 MSEK
Flintrännegatan	4,3 MSEK
Carlsgatan	0,3 MSEK
Frihamnsallén	4,3 MSEK
Turbinen, bräddavlopp	11,1 MSEK
Föreningsgatan	11,4 MSEK

TOTALT 101,3 MSEK

10.2.3.3 Mikrotunnlar

Kostnaden för de drygt 2,0 km långa mikrotunnlarna har av Babenderde Engineers GmbH, se bilaga 9, beräknats till 6 331 000 € vilket motsvarar ca 64 MSEK. De har dock i sin beräkning gjort ett påslag om 15 % för utökade kostnaden fram till projektstart varför summan bör reduceras till 55 MSEK.

10.2.3.4 Kvittblivning av massor

Som deponeringsplats för schaktmassor föreslår enligt avsnitt 8 Malmö stad Lindängelund där massorna kan användas för utfyllnad. Området är beläget i stadens södra ytterområde strax innanför Yttre ringvägen. Staden tar ut en mottagningsavgift om 40 SEK/m³ för hantering av massorna. Därtill kommer transportkostnader samt kostnad för behandling av massorna med avseende på innehåll av konditioneringskemikalier.

För tunnelalternativ 1 kommer ca 255 000 m³ lösa massor att behöva behandlas, transporteras och deponeras vilket motsvarar ca 42 MSEK. För alternativ 2 blir siffrorna ca 260 000 m³ respektive ca 45 MSEK. Kostnaden för kvittblivning av massor har nedan inkluderats i kostnad för huvudtunnel, mikrotunnlar och vertikalschakt.

10.2.3.5 Ventilationsanordningar

De ventilationsanordningar som kan komma ifråga rör förhållandevis enkla byggnadstekniska installationer i anslutningsschakt och ovan mark vid dessa samt ventilationsschakt ner till tunneln. Vid de stora anslutningarna samordnas dessa schakt med huvudanslutningen medan man vid de mindre pumpstationsanslutningarna utför separata ventilationsschakt. Kostnaden bedöms sannolikt inte uppgå till mer än ca 0,3 – 0,4 MSEK per anslutning. Den mekaniska ventilationsanläggning som erfordras för tunnelventilationen har eljest kalkylerats in i kostnaden för pumpstation nedan.

Totalt skulle anordningarna för ventilation då komma att uppgå till ca 3 MSEK.

10.2.3.6 Pumpstation och reglersystem

Anläggningskostnaden för pumpstationen vid Sjölanda avloppsreningsverk har översiktligt beräknats. Kostnaden har fördelats på maskinella och elektriska installationer samt byggnadstekniska anläggningar såsom pumpsal, pumpsump, trapphus, överbyggnad m m. Kostnaden för de maskinella installationerna inbegriper även rörgaller med anslutning till Sjölanda avloppsreningsverk.

Maskinella och elektriska installationer	56 MSEK
Byggnadstekniska anläggningar	27 MSEK

10.2.3.7 Ombyggnader vid Sjölunda avloppsreningsverk

Troligen behöver man utföra en ny rens-galleranläggning vid reningsverkets inlopp. En sådan anläggning skulle ta upp en yta av ca 2 500 m². Kostnaden för en ny rens-galleranläggning bedöms uppgå till:

Maskinella och elektriska installationer	15 MSEK
Byggnadstekniska anläggningar	10 MSEK

Då denna anläggning egentligen inte är betingad av avloppstunneln utan fast mer är ett behov som sedan en tid föreligger inom avloppsreningsverket har vi valt att inte belasta tunnelkostnaden med kostnaden för en ny rens-galleranläggning.

Vissa ombyggnader på inloppssidan till reningsverket för att ansluta nya ledningar m m är dock oundvikliga. Kostnaden för detta bedöms dock vara betydligt mindre än ovan angivet och uppgå till ca 2 MSEK.

10.2.3.8 Omkopplingar vid befintliga pumpstationer m m

Omkopplingar vid befintliga pumpstationer m m omfattar förutom röromläggningar som erfordras för inkoppling av befintliga spillvatten – och kombinerade ledningar till tunneln även omläggningar nödvändiga för att etablera anslutningsschakt m m för byggprocessen ska kunna utföras.

Kostnaderna har översiktligt bedömts baserat på digniteten på aktuell anslutningspunkt varvid Turbinen, Rosendal, Spillepeng har åsatts en kostnad av 2 MSEK/styck och de övriga d v s Carls-gatan, Frihamnsallén, Skrug-gatan, Kosterögatan, Flin-trännegatan, Turbinkanalen och Förening-gatan har bedömts till 1 MSEK/styck. Totalt skulle detta innebära 13 MSEK.

10.2.4 Totala anläggningskostnader

Projektindel	Kostnad tunnlar och dylikt MSEK	Kostnad byggnader MSEK	Kostnad maskiner och el MSEK	Total kostnad MSEK
Förundersökningar	8	-	-	8
Projektering	46	2	3	51
Tillstånd	10	-	-	10
Trafikomläggningar	3	-	-	3
Byggledning/kontroll	91	3	6	100
Huvudtunnel	588	-	-	588
Anslutningsschakt	101	-	-	101
Mikrotunnlar	55	-	-	55
Ventilation	-	3	-	3
Pumpstation och reglersystem	-	27	56	83
Ombyggnader vid Sjölanda ARV	2	-	-	2
Omkopplingar o d	13	-	-	13
TOTALT	917	35	65	1 017

Tabell 2 Kostnadssammanställning

De totala anläggningskostnaderna enligt denna beräkning skulle alltså uppgå till drygt 1 000 MSEK. Av denna summa utgör 915 MSEK kostnader för tunnel, 35 MSEK för byggnadsverk i övrigt och 65 MSEK kostnader för elektriska och mekaniska installationer.

Med beräkning enligt real annuitetsmetod och 4 % real ränta, avskrivningstid för tunnlar på 50 år, på byggnader 30 år samt för el- och maskinstallationer på 10 år skulle kapitalkostnaden komma att uppgå till:

$$0,12329*65 + 0,05783*35 + 0,04655*917 = 52,7 \text{ MSEK}$$

10.3 Drift- och underhållskostnader

10.3.1 Energikostnader

Energikostnaden för anläggningsdriften bedöms uppgå till ca 5,7 MSEK/år enligt nedan.

10.3.1.1 Pumpning

Energikostnaden för pumpningen blir med all sannolikhet den dominerande. Idag pumpar man i medeltal 40,3 miljoner m³ avloppsvatten till Sjölunda avloppsreningsverk. Den pumpade volymen kommer i framtiden öka något eftersom mängden bräddat avloppsvatten kommer att minska. Ökningen bedöms bli knappt 0,5 miljoner m³, d v s totalt ca 41 miljoner m³. Detta innebär att man i medeltal över året kommer att pumpa ca 1,3 m³/s, vilket med en lyfthöjd om ca 35 m och en total genomsnittlig verkningsgrad för anläggningen på 70 % innebär att man förbrukar man i storleksordningen 5,6*10⁶ kWh om året.

Med ett energipris av 1,0 SEK/kWh skulle således den årliga elkostnaden för pumpningen uppgå till 5,6 MSEK. Detta kan jämföras med de ca 6 MSEK i energikostnad som man förväntas få för driften av de aktuella pumpstationerna det kommande året.

10.3.1.2 Övrigt

El används ju även till andra ändamål i anläggningen såsom t ex drift av avstängningsluckor, fläktar, belysning, uppvärmning m m. Energiåtgången för detta är dock marginell i förhållanden till pumpningsenergin. Med stor sannolikhet är den mindre en 0,1*10⁶ kWh.

10.3.2 Övriga driftkostnader

Avloppspumpstationer och anordningar kräver återkommande tillsyn. För tillsyn av de anläggningar som kommer att ersättas av föreslagen pumpstation vid Sjölunda avloppsreningsverk åtgår ungefär 3 man-timmar/d. Denna tid bör, eftersom huvuddelen av de anläggningar som kräver tillsyn kommer att koncentreras till pumpstationen vid Sjö-

lunda avloppsreningsverk, kunna reduceras till 1 mantimme/d. Detta innebär en kostnad av ca 0,1 MSEK.

10.3.3 Underhållskostnader

10.3.3.1 Tunnel och anslutningar

Underhållskostnader för denna typ av anläggningar uppgår normalt till 0,5 % av anläggningskostnaden. Med en anläggningskostnad av 915 MSEK skulle således det årliga underhållet av tunnel och anslutningar hamna på ca 4,6 MSEK.

10.3.3.2 Byggnader

Årlig kostnad för underhåll av byggnader brukar uppskattas till ca 1 % av anläggningskostnaden. Med en total kostnad av 35 MSEK för uppförande av erforderliga byggnader skulle således det årliga underhållet komma att kosta ca 0,4 MSEK.

10.3.3.3 Maskin- och el-utrustning

Underhållskostnaden för maskin- och el-utrustning är normalt högre än för de mindre komplexa anläggningsdelarna enligt ovan. Kalkylmässigt brukar man uppskatta att det åtgår ca 2 % av anläggningskostnaden i årligt underhåll. Med en total anläggningskostnad för maskin- och el-utrustning av 65 MSEK skulle det årliga underhållet komma att kosta 1,3 MSEK. Detta är i paritet med dagens underhållskostnader för de befintliga pumpstationerna.

10.3.4 Totala drift- och underhållskostnader

En sammanställning av de ovan beräknade årskostnaderna för drift och underhåll ger följande:

Energikostnad	5,7 MSEK/år
Övriga driftkostnader	0,1 MSEK/år
Underhåll av tunnel och anslutningar	4,6 MSEK/år
Underhåll av byggnader	0,4 MSEK/år
Underhåll av maskin- och el-utrustning	1,3 MSEK/år
Totalt	12,1 eller ca 12 MSEK/år

10.4 Analys av kostnadsbedömningens tillförlitlighet

Den här redovisade kostnadsbedömningen är översiktlig och sannolikt något konservativ. Någon detaljerad värdering av de möjliga projektriskerna i tid och kostnad har inte bedömts som meningsfull i detta skede, bland annat på grund av den relativt begränsade informationen om de geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna öster om Malmö C.

Vid en grov bedömning framstår effekten av några av de geologiska riskerna (stora zoner med hög vattenföring och sprickrikt eller krossat berg) som den största risken för att den beräknade kostnaden inte skulle kunna innehållas. Denna typ av ofördelaktiga förhållanden kan påverka tunneldrivningens tidplan och även kräva att kostnaden för TBM ökar. Vidare kan det innebära behov av injektering av kalkstenen vilket också innebär ökning av tid och kostnad.

En viss kalkylosäkerhet kan också knytas till vilka villkor som kommer att fastställas i tillståndsprovningen. Inte heller denna typ av osäkerhet kan värderas på ett meningsfullt sätt i detta skede.

Kalkyl och tidplan utgår från att drivning av samtliga tunnlar sker dygnet runt, 7 dagar i veckan. Skulle dessa arbetstider inte medges i tillstånden, innebär det naturligtvis en ökning av tid och kostnad.

En ytterligare risk i kostnadssammanhang är valutan. En stor del av tunnelarbetet är beroende av icke svensk utrustning och också sannolikt av utländsk entreprenör. Kostnadsberäkning av dessa arbeten har i utredningen genomförts i euro av internationell expertis. Omräkning till SEK har sedan skett med för tidpunkten gällande kurs för euro. Vid en framtida upphandling bör valutasäkring övervägas.

Försäkring av tunnelentreprenader har haft en tendens att bli höga. I Citytunnelprojektet valde man att på bästa sätt söka påverka denna kostnad genom att projektet handlade upp en försäkringslösning vad gäller tredje part och anläggningen. Försäkringen tillhandhölls de aktuella entreprenörerna. Dessa behövde då endast stå för försäkring för sin egen utrustning och personal. Detta innebar en besparing i projektet men det tog också ca ett år i upphandlingstid vilket bör beaktas. Lösningen bör övervägas även i projekt Tunnel 2000.

För den fortsatta projektutvecklingen förslås följande förfarande:

- Projektets metodik för riskhantering etableras tidigt. Citytunnelns riskhantering är ett gott exempel som varit starkt bidragande till det projektets framgång, med inga eller små oväntade störningar under byggtiden
- Kompletterande fältundersökningar utförs.
- Möjliga optimeringar av projektet, såsom detaljerad linjeföring, dimensioner för de enskilda schakten, m m. studeras ("Value Engineering")
- Kostnadskalkylen uppdateras och förfinas stegvis med en sannolikhetsbaserad metodik. Riskerna värderas i tid och kostnad och beaktas i den totala kalkylen och tidplanen. Vidare värderas möjliga spridningsintervall för kalkylens olika delavsnitt med statistiska metoder så att kalkylens osäkerhetsmarginaler och möjliga spridning kan bedömas med ökad säkerhet allt eftersom projektet utvecklas och detaljeras.

11 Tidplan

Tider för genomförande av tunnelprojektet har studerats översiktligt enligt nedan samt i bilaga 2.

11.1 Kompletterande fältundersökningar

Kompletterande undersökningar är främst av geologisk, bergmekanisk och hydrogeologisk art och bedöms kunna planeras och genomföras under de närmaste ca 6 månaderna efter det att beslut fattats om att genomföra tunnelprojektet.

11.2 Förprojektering

Upphandling av projektör samt genomförande av förprojektering bör kunna utföras delvis parallellt med att man utför kompletterande förundersökningar. Förprojekteringen ska utgöra grund för den efterkommande tillståndshantering och beräknas ta 8 – 10 månader inklusive upphandling av projektör.

11.3 Hantering av tillstånd

Hantering av tillståndsfrågor har hanterats ovan i avsnitt 9 och särskild tidplan har där redovisats för detta arbete. Av den framgår att man bör räkna med att hanteringen fram till och med erhållen miljödom kommer att ta 18 – 24 månader. Processen bör dock åtminstone till del kunna utföras parallellt med förprojekteringen.

11.4 Detaljprojektering

Upphandling av projektör samt genomförande av detaljprojektering bör delvis kunna bedrivas samtidigt med tillståndshantering. En rimlig sammanlagd tid för genomförande av såväl konsultupphandling som projektering är 12 - 15 månader.

11.5 Upphandling

Upphandling av entreprenör för byggande bör uppdelas på två steg och inledas med en prekvalifikation där man sållar ut vilka entreprenörer som dokumenterat har resurser och tekniskt kunnande för projektgenomförandet. Detta skede bedöms kunna genomföras på ca 3 månader men kan rimligen klaras ut samtidigt som detaljprojekteringen pågår. Slutlig upphandling av entreprenörer bör därefter kunna

genomföras på ca 8 – 9 månader varav ett halvår utgör tid för anbudsräkning.

11.6 Byggande

Byggskedet kan uppdelas i tre huvuddelar, nämligen etablering, huvudskaliga entreprenadarbeten och idrifttagning.

Etablering en omfattar förutom entreprenörens installation på plats även anläggande av erforderliga byggplatser. Detta skede bedöms vara i ca 3 – 4 månader.

De huvudsakliga entreprenadarbetena omfattar anläggning av tunnlar med anslutningar och pumpstation och beräknas att ta drygt 2 år. Detta förutsätter en genomsnittlig drivningshastighet för huvudtunnel på 250 – 300 m/månad under inkörningsfasen som bedöms vara ca 3 à 4 månader och därefter 500 -600 m/månad. Utöver tunneldrivning hamnar även anläggande startschakt samt demontering av tunnelborrmaskinen på den kritiska linjen. Anläggande av startschakt bedöms ta ca ett halvår medan demontering av maskinen går på ca 1 månad.

Byggskedet avslutas med idrifttagning då anläggningen ska testas och provköras samt omkoppling ska ske från befintligt driftsätt. Detta skede bedömer vi kommer att ta ca ett halvår.

11.7 Totaltid från beslut till färdigställande

Total tid från beslut till färdig och idrifttagen anläggning skulle enligt denna översiktliga tidplan bli ungefär 6 à 7 år.

SWECO Environment AB
VA-system, Malmö