

Transportsystemet for Oslofjordprosjektet

Av sivilingeniør Gjermund Sætersmoen

Gjermund Sætersmoen er ansvarlig medarbeider i firmaet Sivilingeniør Elliot Strømme A/S. Han er siv.ing. fra NTH (bygg) 1959.

*Foredrag holdt i
Norsk Forening for Vassdragspleie
og Vannhygiene
18. juni 1974.*

Utredningsoppgaven.

I det alternativ som er lagt til grunn for forprosjektet, forutsettes det at avrenningsområdet til indre Oslofjord blir delt i et østre og et vestre rensedistrikt.

Grensen mellom disse to rensedistrikter vil med små justeringer bli den samme som nåværende grense mellom Bekkelaget og Festningen rensedistrikt i Oslo og følge en linje Bispevika-Kværner — krysset Maridalsveien/Store Ringvei og Maridalsveien opp til byggegrensen mot Nordmarka.

Vestre rensedistrikts grense mot nord og vest følger de respektive byggegrenser i Oslo, Bærum og Asker. I Røyken avgrenses rensedistriktet mot vest av vannskillet mellom Drammensfjorden og Oslofjorden og mot syd av Midtbygda og Nærnes. Det geografiske midtpunkt i rensedistriktet ligger på Nesøya i Asker.

Rammen for prosjekteringen av transportsystemet har vært å finne

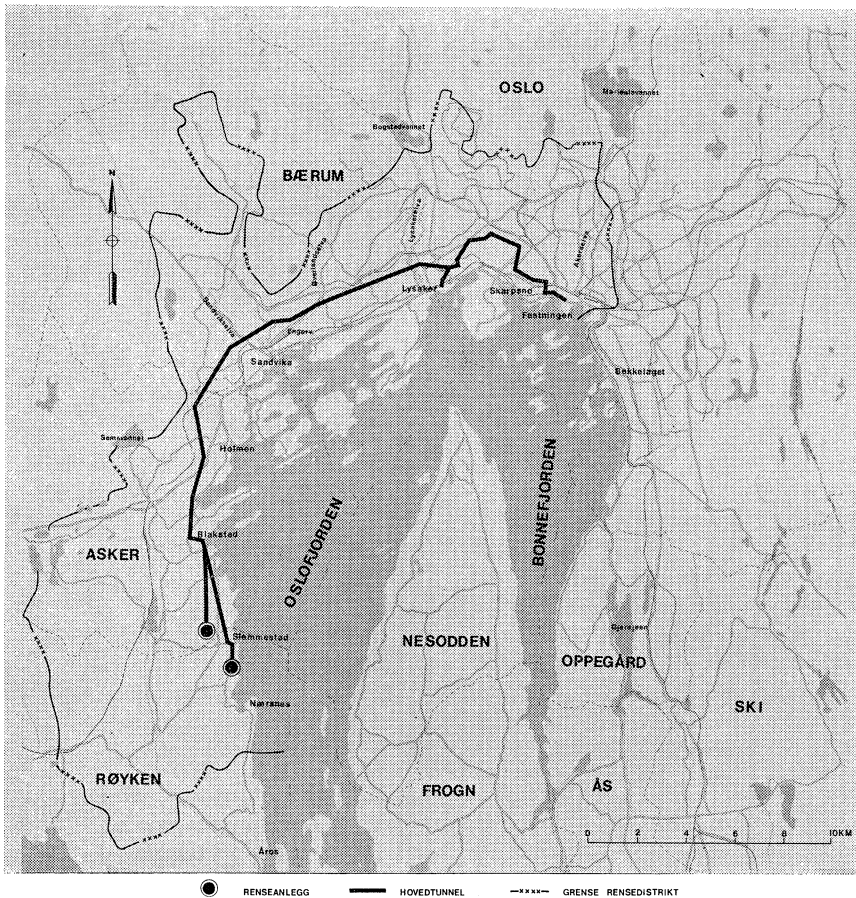
den mest hensiktsmessige måte å transportere avløpsvannet fra de samarbeidende kommuner i vestområdene og frem til et felles rensenanlegg i Slemmestadområdet. Transportsystemet omfatter alle de enheter som er nødvendige for å transportere avløpsvann, så som rørledninger, kummer, pumpestasjoner, tunneler osv.

Dimensjonerende data.

De nødvendige grunnlagsdata og dimensjoneringskriterier som er benyttet i forprosjektet er innsamlet og bearbeidet av Oslofjordkontoret. Her nevnes kun enkelte av de data som har betydning for transportsystemet. De enkelte kommuners andel betegnes som Oslo vest, Bærum, Asker og Røyken nord.

Vestre rensedistrikt omfatter et areal på ialt 24 400 ha, hvorav 21 % ligger i Oslo vest, 29 % i Bærum, 28 % i Asker og 22 % i Røyken.

Den samlede befolkning innen rensedistriktet antas å øke fra ca. 350 000 i dag til ca. 480 000 i år 2000. Avløpet fra næringsvirksomhet angitt som personequivallenter er tilnærmet konstant ca. 300 000 frem mot år 2000 da det antas å stige noe.



Antall personenheter, dvs. summen av personer og personekvivalenter, vil følgelig stige fra ca. 650 000 i dag til nærmere 800 000 ved århundreskiftet. Av disse 800 000 vil 59 % tilhøre Oslo vest, 25 % Bærum, 13 % Asker og 3 % Røyken nord. Med et midlere spesifikt avløp på 450 l pr. personenheter og døgn, blir den samlede spillvannsavrenning i år 2000 ca. 4,1 m³/s i middel.

Det er imidlertid den maksimale vannføringen som dimensjonerer transportsystemet. Foruten at spillvannsavrenningen varierer såvel over døgnet som over året, vil det også bli tilført en del av regnvannet fra de områder som har fellessystem.

Mens Asker og Røyken har utbygd sitt avløpsnett etter separat-systemet, er det i Oslo og Bærum store områder med fellessystem. Alle

nye områder utbygges imidlertid etter separatsystemet og det pågår også i eldre områder en omlegging fra fellessystem til separatsystem. Prognosene viser at i år 2000 vil 50 % av personenehetene i Oslo vest og 73 % i Bærum være tilknyttet separatsystem, mens andelen i dag kun er henholdsvis 20 og 15 %. Dette vil igjen si at for hele rensedistriktet øker andelen av separatsystem fra ca. 25 % i dag til 65 % i år 2000.

Fortynningsfaktoren for regnværsoverløpene er satt til $m = 3$ for alle områder med fellessystem, dvs. at regnværsoverløpene begrenser vannføringen til renseanlegget til ca. 4 ganger den midlere spillvannsavrenning fra vedkommende område.

Som det fremgår av figur 2 vil den prosentvise regnværandselen under maksimal tilrenning avta etter hvert, noe som skyldes omleggingen til separatsystem. Den maksimale tilrenningen under regnvær vil imidlertid øke helt frem til århundreskiftet p.g.a. stigningen i antall personeneheter og det større spesifikke spillvannsavløp.

Generelt om transportsystemet.

Innen de lokale avløpssoner blir vannet vesentlig transportert i selvfallsledninger eller pumpeledninger som er lagt i grøfter. Ved denne transportmåte er man imidlertid sterkt bundet av de topografiske forhold og eksisterende bebyggelse.

Med en tunnel er man derimot meget friere i valg av trasé i såvel horisontalplanet som vertikalplanet, inngrepene i terrenget blir også vesentlig mindre. Vestområdene har en

såvidt variert topografi og tett bebyggelse at transport i tunnel fremstår som den beste løsning når vannmengder av denne størrelsesorden skal transporteres over større avstander.

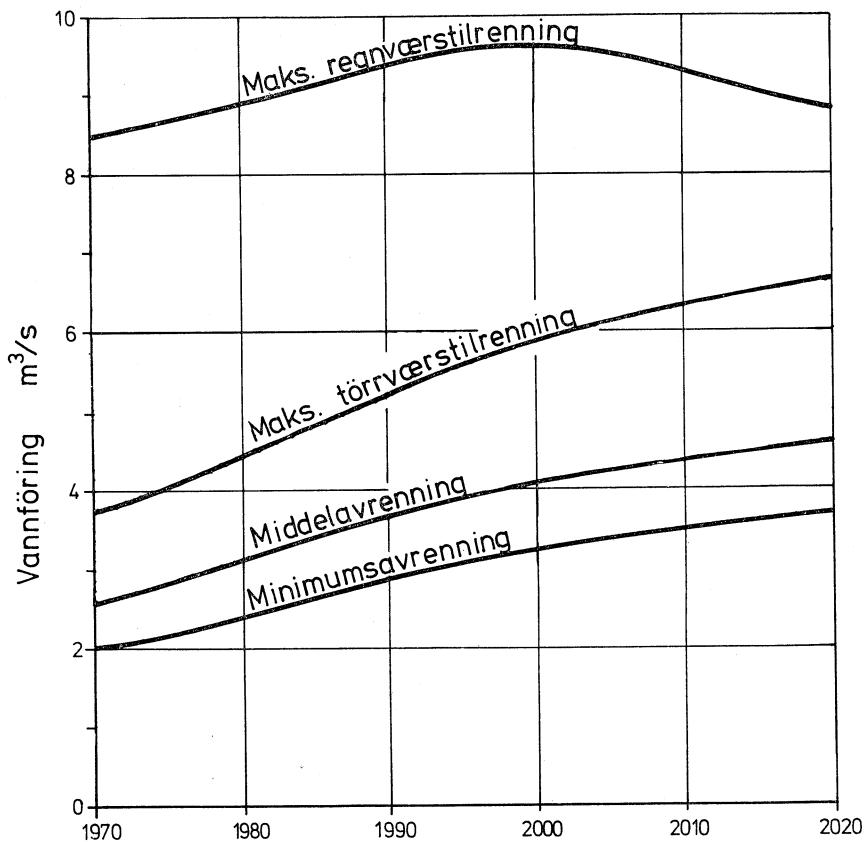
Kloakkvannet fra de enkelte områder innen rensedistriktet er derfor forutsatt samlet i en felles tunnel og i denne ført frem til renseanlegget.

I tillegg til hovedtunnelen vil det bli etablert en rekke tverrslagstunneler. Enkelte av disse er prosjektert vesentlig for å få gjennomført anleggsarbeidene for hovedtunnelen på en rasjonell måte, mens andre primært tjener til å føre vannet fra det lokale avløpsnett inn på hovedtunnelen. Alle tverrslagstunnelerne kan benyttes som permanente adkomster for inspeksjon og vedlikeholdsarbeider. De gir dessuten plass for arrangementer for måling av de tilførte vannmengder.

Den delen av avløpsvannet som skal transporteres til renseanlegget, føres inn på hovedtunnelen på enkelte påslippspunkter. Rensedistriktet blir således inndelt i en rekke påslippsområder.

Før det slippes inn på tunnelsystemet, samles vannet fra hvert enkelt påslippsområde i en spesiell påslippskum med bl.a. nødløp og noen enkle lukearrangementer. Fra denne føres så vannet med selvføll inn på hovedtunnelen. Dette skjer gjennom borede grovhull, eventuelt sjakter, eller det benyttes rørledninger som fører vannet inn i en tverrslagstunnel hvor det så renner videre i en åpen renne til hovedtunnelen.

Ved hvert påslippspunkt vil de tilførte vannmengder bli målt før van-



KARAKTERISTISKE VANNFÖRINGER TIL RENSEANLEGGET

Fig. 2.

net føres inn på tunnelen. Måleanleggene forutsettes utstyrt med indikerende instrumenter, utstyr for summasjon av vannmengdene og fjernoverføring av måledata til renseanlegget.

Ventilasjon og selvrensing.

En kloakktunnel prosjekteres i likhet med de fleste konstruksjoner med henblikk på at den skal tilfredsstillende de gitte funksjonskrav så økonomisk som mulig. Av de viktigste funksjonskrav nevnes:

- Foruten å ha tilstrekkelig kapasitet for de maksimale vannføringer må tunnelen være selvrensende selv ved de minste vannføringer som normalt vil opptre.
- Det bør være mulighet for kontinuerlig ventilasjon.
- Tunnelen må være stabil, dvs. sikker mot ras eller nedfall av steinblokker og den må være tilstrekkelig tett. En infiltrasjon av grunnvann vil foruten å være en ekstra belastning på transportsystemet og renseanlegget, også kunne medføre at grunnvannstanden senkes, noe som igjen kan gi skadelige setninger på bygninger og andre konstruksjoner.

Dette er til dels de samme krav som man også stiller til tunneler som bygges for andre formål. Kravet om selvrensing er imidlertid mer spesielt for kloakktunneler, og for kloakktunneler over en viss lengde må også ventilasjonen vies spesiell oppmerksomhet. Kravene til selvrensing og ventilasjon medfører at tunnelen bør ha et fritt vannspeil i

hele sin lengde. En frittspillstunnel er selvfølgelig også vesentlig enklere å inspisere og holde vedlike enn en dykket tunnel.

En utilstrekkelig ventilasjon kan føre til at man får problemer med bl.a. *rensingen* (anaerobe forhold i kloakkvannet med nedsatt renseseffekt og øket lukt i renseanlegget), *sikkerheten* (lav oksygengehalt i tunnelluft, giftige og eksplosive gasser), *lukten* (illeluktende gasser i avtrekksluften) og med *korrosjonen* dvs. skader på metall og betong.

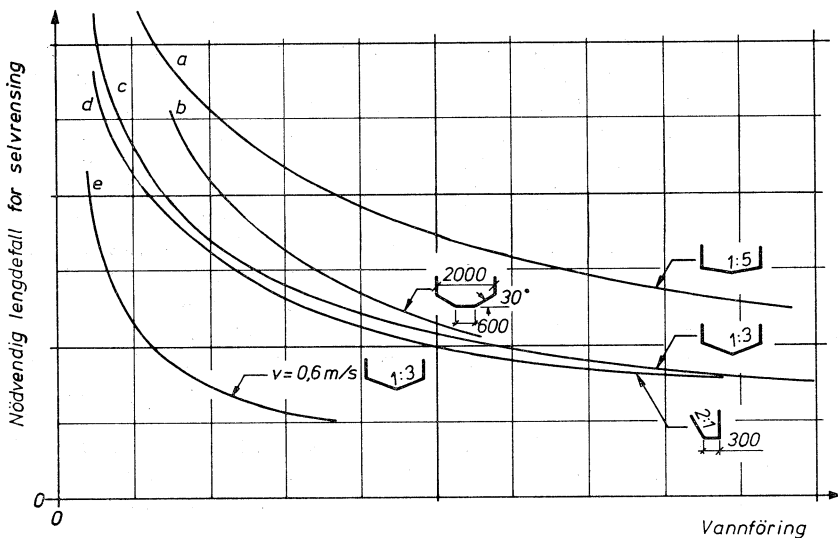
Vassdrags- og havnelaboratoriet ved NTH fikk derfor som et eget oppdrag å studere ventilering av kloakktunneler med spesielt henblikk på dette prosjektet.

Av de viktigste konklusjoner nevnes:

- Tunnelen ventileres under undertrykk.
- Luftmengden holdes på 3—5 m³/s ved middelvannføring.
- Tunnelen ventileres i en sammenhengende strekning med luftinntak ved Kongens gt. og utslipp ved renseanlegget.

De angitte luftmengder gir en god atmosfære i tunnelen og hindrer eksplosive forhold bortsett fra i helt ekstraordinære tilfeller. Oksygeninnholdet i vannet økes ved å la vannet fra de enkelte påslipp styrte ned i hovedtunnelen. En ytterligere tilleggslufting synes ikke nødvendig. Ved å holde undertrykk i tunnelen, unngår man dessuten luktproblemer i omgivelsene ved utette tverrslagsporter etc.

Beregningene vedrørende selvrens-



TUNNELBUNNENS INNVIRKNING PÅ SELVRENSNINGSEVNEN

Fig. 3.

ingen er basert på at den opptredende skjærspenning langs tunnelbunnen ikke skal være mindre enn $0,4 \text{ kp/m}^2$ i senter av tverrsnittet. Tunnelen er da forutsatt utført med en stålglattet betongbunn.

For dette prosjektet må alt kloakkvannet pumpes ved renseanlegget. En del må også pumpes fra det lokale avløpsnett og inn på tunnelsystemet. Ved lave minstevannføringer vil derfor kravet om selvrensing kunne ha en relativt stor innflytelse på de samlede transportkostnader, idet det nødvendige lengdefallet for selvrensing da kan være vesentlig større enn det økonomiske lengdefallet.

Ved lave vannføringer er det nødvendige fallet for selvrensing av-

hengig av tunnelbunnens tverrsnittsutforming. Figur 3 gir et område hvor vannspeilet ikke vil nå opp til de vertikale veggene.

Det har ofte vært vanlig å benytte vannets hastighet som et mål for selvrensingsevnen og en minste-hastighet på $0,6 \text{ m/s}$ ble da gjerne satt som krav. Den nederste kurven viser nødvendig lengdefall for å oppnå denne hastighet i en V-formet bunn med tverrsnitt $1:3$. Som det fremgår krever dette et vesentlig mindre lengdefall enn når skjærspenningen benyttes som kriterium for selvrensingen.

Økonomisk lengdefall.

For en gitt maksimal vannføring er tunnelens tverrsnitt bestemt av

hvilket lengdefall som velges. Ved å øke lengdefallet, kan tverrsnittet reduseres, til gjengjeld får man en større pumpehøyde på hovedsystemet. Reduserer man lengdefallet, må tverrsnittet økes mens pumpehøyden reduseres.

Ved å prøveregne for forskjellige lengdefall, kan man finne det fall som gir den laveste sum av de årlige kostnader for hovedtunnel, pumpestasjon og energi, dvs. det økonomiske lengdefall. Dette økonomiske lengdefallet er i vesentlig grad avhengig av den dimensjonerende vannføring, de marginale kostnader for tunnel og pumpestasjon, strømprisen og rentenivået.

Det var i dette tilfellet en mengde delstrekninger som skulle vurderes, hver med sin karakteristiske vannføring og med muligheter for å anlegge pumpestasjoner flere steder på hovedtunnelen. Optimaliseringsberegningene måtte derfor systematiseres og resultatene gis en slik form at de kunne brukes generelt og således at man kunne unngå tidkrevende beregninger for hver enkelt underalternativ som man fant å måtte vurdere.

Figur 4 viser optimaliseringskurver hvor marginalkostnadene for tunnelen er satt lik 75 kr./m³ hvilket skal dekke anleggskostnadene, også sikringsarbeidene. Da spesielt disse vil variere langs traséen, er det også satt opp tilsvarende kurver for andre marginalkostnader. Når man skal finne det økonomiske fallet for en bestemt tunnelstrekning, avsetter man på horisontalskalaen den dimensjonerende vannføring for kun denne strekningen. Man går så opp til kurven for de årlige marginal-

kostnader for den samlede vannføring ved pumpestasjonen og avleser på vertikalskalaen det optimale fall for vedkommende tunnelstrekning.

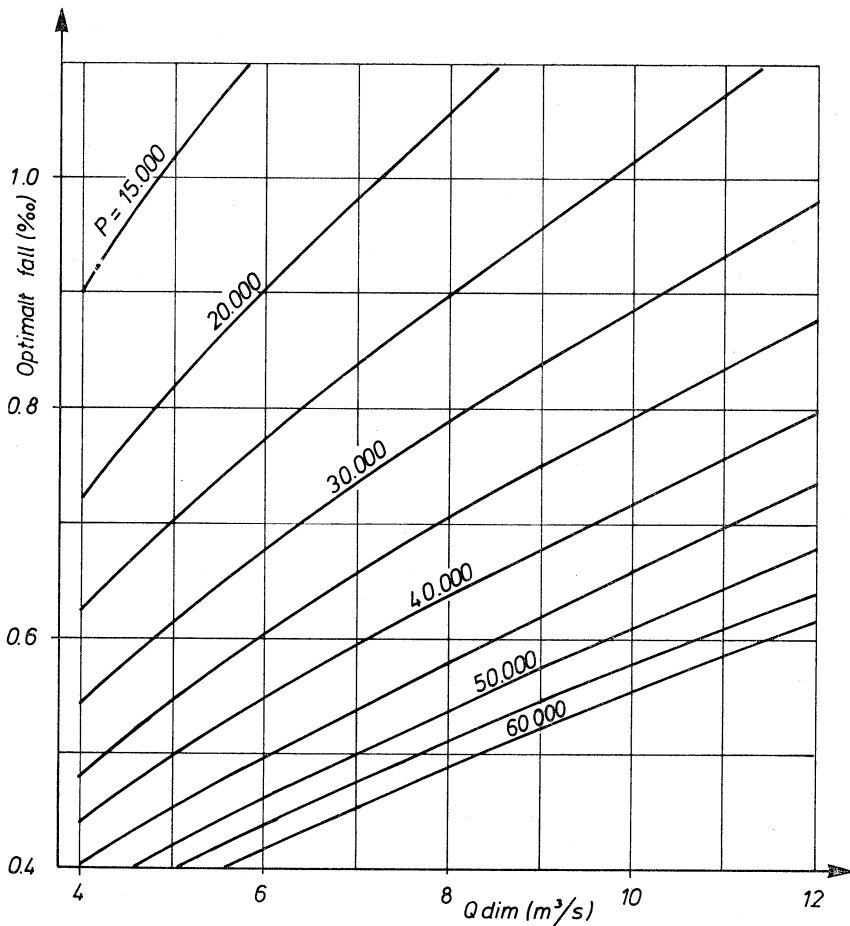
Før det endelige lengdefallet velges, må man foruten å kontrollere selvreisingen, også vurdere hvorledes resten av transportsystemet blir påvirket av hovedtunnelens høydebeliggenhet. Det kan f.eks. være riktig å øke hovedtunnelens lengdefall utover det økonomiske fallet, for denne sett separat, hvis man dermed kan spare en pumpestasjon på det lokale oppsamlingssystemet og således få lavere samlede kostnader for oppsamlingssystem og hovedsystem.

Valg av tunneltrasé.

For et tunnelanlegg er det vesentlig kravet til overdekning som begrenser området for de teknisk gjennomførbare løsninger. Da vestområdernes topografi og geologi gjør det mulig å velge mellom en rekke tekniske løsninger, har arbeidet med forprosjektet i stor grad konsentrert seg om å finne den beste løsning.

For å finne den optimale tunneltrasé må hele avløpssystemet vurderes samlet. Man må ta hensyn til også det lokale avløpsnett, undersøke hvorledes dette påvirkes av hovedtunnelens beliggenhet og om det eksisterende ledningsnett er tilfredsstillende.

For å vurdere betydningen av alle enkeltfaktorene i transportsystemet, har det vært nødvendig å undersøke en rekke alternativer for hovedtunnelens trasé og å sammenligne de samlede kostnader for tunnelsystemet og det lokale avløpssystemet innen de enkelte kommuner. Hvert av



P: Årlige marginalkostnader for ökning av pumpehöyden med 1m

OPTIMALISERINGSKURVER FOR TUNNELER MED MARGINALKOSTNADER 75 KR/M³

Fig. 4.

disse alternativer måtte optimaliseres som angitt tidligere før de så ble vurdert mot hverandre.

Uten å gå i detalj kan det nevnes at det er utredet 7 hovedalternativer for hovedtunnelens beliggenhet i horisontalplanet. Foruten den variasjon i høydebeliggenhet som skyldes de ulike topografiske og geologiske forhold for de forskjellige horisontaltraséer, er det undersøkt 4 hovedalternativer for tunnelens høydebeliggenhet. I tillegg til disse hovedalternativer, har man selvfølgelig også vurdert en rekke underalternativer som kunne forkastes på grunnlag av enklere overslagsberegninger.

Når det er benyttet betegnelsen hovedtunnel, betyr ikke dette kun tunnel i fjell. Mange av alternativene har vært en kombinasjon av fjell-tunnel, tunnel i løsmasser, rørtrykking og kulverter i grøfter.

Anbefalt hovedsystem.

Som en generell definisjon av hovedsystemet har man foreløpig valgt å la dette inkludere påslippskummene foruten de enheter som ligger mellom disse og pumpestasjonen ved sentralrenseanlegget.

Det er detaljtrudet to alternativer for sentralrenseanlegget, det ene ved Berger i Røyken, det andre under Torpåsen i Asker. Så langt syd som til Blakstad i Asker vil imidlertid transportsystemet være det samme for begge alternativer.

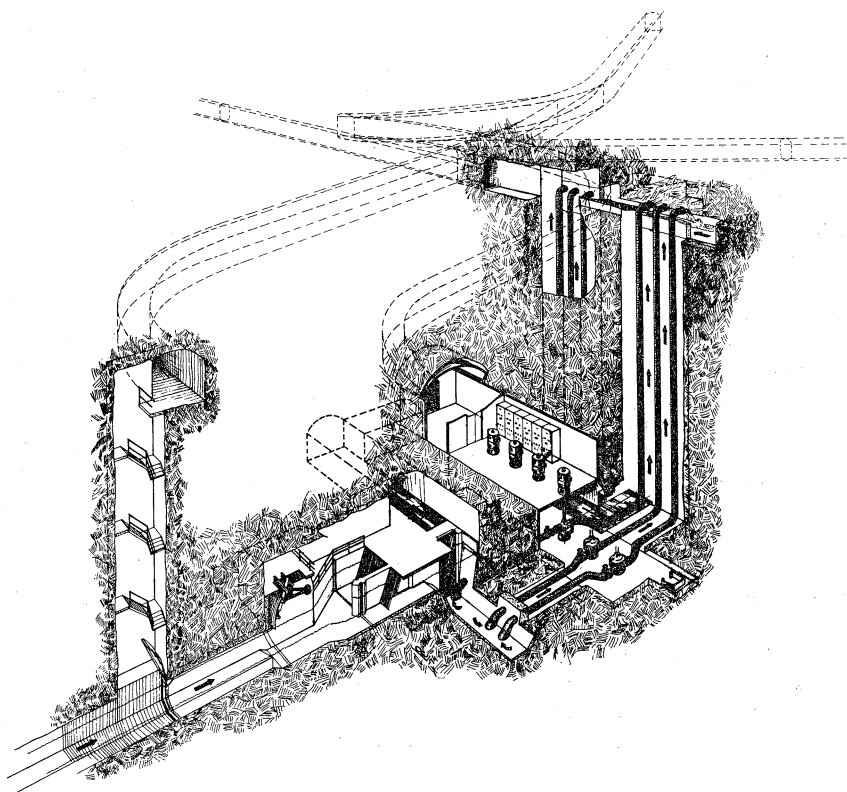
Hovedtunnelen begynner ved Kongens gate og går vestover til Vika hvor den dreier nordover mot NSB's øst-vest tunnel som nå er under ut-

førelse, går så parallelt med denne frem til Thomas Heftyes gate hvor den krysser under jernbanetunnelen. Derfra går den nordover til det nordøstlige hjørnet av Frognerparken hvor det bygges en pumpestasjon for en dimensjonerende vannføring på 5 m³/s og med en statisk løftehøyde på vel 30 m.

Under Rådhusplassen ligger tunnelen på ca. kote —15,0 og må i en lengde på vel 100 m etableres i løsmasser. For øvrig vil tunnelen ligge i fjell helt frem til renseanlegget. Hovedpumpestasjonen i Oslo vil også bli bygget i fjell.

Etter pumpestasjonen fortsetter hovedtunnelen vestover til Smestad skole hvor den dreier sydover til Bestum. Her går det en avgreining ned til Frantzebråten hvor det nå bygges et renseanlegg med dyputslipp i Lysakerfjorden. Tunnelen mellom Majorstua og Frantzebråten vil sammen med dette renseanlegget bli tatt i bruk allerede ved årsskiftet 1975/76. Denne delen av anlegget kan inngå som en integrert del av avløpssystemet i Oslo selv om man velger andre alternativer for løsning av avløpsproblemene i vestområdene enn det dette forprosjektet forutsetter.

Fra avgreiningspunktet ved Bestum hvor det etableres et luke- og overløpsarrangement, går tunnelen rett vestover, krysser Lysakerområdet på ca. kote 4,0 og kommer inn i Bærum ved Jar skole. Derfra går den sydvestover på nordsiden av Engervannet, krysser under Sandvikselva ved Bjørnegård, dreier noe mer i sydlig



retning ved Vestre Jong og kommer inn i Asker ved Billingstad. Fra Åstad går tunnelen tilnærmet rett sydover helt til Blakstad hvor den på en kort strekning legges østover igjen.

Den videre trasé bestemmes nå av hvilket alternativ som velges for renseanlegget. For Torp-alternativet kan tunnelen legges i en rett linje fra Askerelvas utløp til renseanlegget. For Berger-alternativet vil tunnelen

bli liggende noe nærmere fjorden, gå like vest for Slemmestad fabrikker for så å dreie skarpt østover før den går videre sydover til renseanlegget. Tunnelens bunn vil her ligge på kote —16.0.

Den samlede lengde av hovedtunnelen fra Kongens gate til renseanlegget ved Berger er 31,7 km. Plasseres renseanlegget ved Torp, reduseres den samlede lengde til 30,0 km. Tunnelens tverrsnitt øker fra ca.

5 m² ved Kongens gate til vel 11 m² ved rensaneanlegget.

Med rensaneanlegget ved Berger, vil tverrslagstunnelen få en lengde på tilsammen 7,5 km og tunnelsystemets samlede lengde blir således 39,2 km for alternativ Berger. Av dette ligger 12,5 km i Oslo, 11,3 km i Bærum, 13,2 km i Asker og 2,2 km i Røyken. Velger man alternativ Torp, reduseres den samlede tunnellengde til 37,1 km.

Det vil bli sprengt ut ca. 380 000 m³ fjell målt som teoretisk fast masse, dersom rensaneanlegget plasseres ved Berger. 130 000 m³ tas ut i Oslo, 72 000 m³ i Bærum, 132 000 m³ i Asker og 46 000 m³ i Røyken. For alternativ Torp reduseres volumet med ca. 30 000 m³.

Man har foreslått at vestre rensedistrikt inndeles i 27 påslippsområder, hvert med sitt påslippspunkt hvor avløpsvannet føres inn på tunnelsystemet. Av disse påslippspunkter ligger 18 i Oslo, 5 i Bærum, 2 i Asker og 2 i Røyken.

Geologi.

Tunnelsystemet vil vesentlig ligge i kambrosilurbergarter som er lagdelt sedimentbergarter bestående av kalk, leirskifer og sandstein. Generelt sett vil bergartene gi bra stabilitetsforhold for de aktuelle tunnel-tverrsnitt, men man må forvente at en forsvarlig stabilitetssikring vil få et visst omfang. Dessuten forutsettes det en omfattende tetthetssikring ut fra kravet om at det ikke skal oppstå skader i de tilstøtende markområder.

Driftsforhold.

Hovedtunnelens høydebeliggenhet karakteriseres ved at den i en vesentlig del av sin lengde ligger lavere enn vannspeilet i Oslofjorden. Dette begrenser mulighetene for å arrangere nødutslipp hvor man ved en eventuell driftsstans kan føre vannet fra hovedtunnelen kontrollert og med selvfall ut i egnede resipienter.

De best egnede steder for nødutslipp er Føstningen og Frantzebraaten. Resipientforholdene er her tilfredsstillende, og man kan benytte allerede etablerte anlegg for dyputslipp. Disse to stedene forutsettes derfor å tjene som sentrale nødutslipp for alle påslippene i Oslo vest bortsett fra Rådhusplassen, Filipstad og Skarpsno som ligger for lavt.

For å unngå at man ved en plutselig driftsstans får tilført store, ukontrollerbare vannmengder til uegnede resipienter, er tverrslagstunnelene avstengt fra hovedtunnelen med en vann tett konstruksjon. Påslippsvannet føres inn på hovedtunnelen gjennom en høyvannsventil som hindrer vannet i hovedtunnelen fra å strømme ut i tverrslagene og videre ut i de lokale resipienter.

Når vannstanden i hovedtunnelen stiger, vil høyvannsventilene lukke. Tverrslagstunnelene vil da tjene som magasin for de respektive påslipp til nødoverløpet i påslippskummene trer i funksjon. Da de fleste tverrslagstunneler har et relativt stort volum, kan man på denne måten redusere eller helt unngå en forurensning av de lokale resipienter ved driftsstans av begrenset varighet som f.eks. strømbrydd.

Kostnader. Tidsplan.

Kostnadene for hovedsystemet er for alternativ Berger beregnet til følgende:

| | |
|--|----------------|
| Totale anleggskostnader, inklusive merverdiavgift, renter i anleggsperioden, prosjektering og byggeledelse | 225 mill. kr. |
| Faste årskostnader (renter og avskrivning) | 18,7 mill. kr. |
| Variable årskostnader (drift og vedlikehold) | 1,5 mill. kr. |
| Samlede årskostnader | 20,2 mill. kr. |

Det er benyttet en rentefot på 8 % p.a.

Dette gir følgende spesifikke kostnader:

| | År 1982 | År 2000 |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| For de tilførte vannmengder | 0,26 kr./m ³ | 0,15 kr./m ³ |
| For hver person (p) | 53,00 kr./år | 42,00 kr./år |
| For hver personenheter (PE) | 30,00 kr./år | 26,00 kr./år |

Velges alternativ Torp, reduseres de totale anleggskostnader med ca. 10 mill. kr., og de spesifikke kostnader med ca. 4 %.

For de tre nødvendige nyanlegg på oppsamlingssystemet er anleggskostnadene eksklusive avgifter etc. anslått til ca. 40 mill. kr.

Hele transportsystemet er forutsatt å ha en byggetid på ca. 3 år. Sprengningsarbeidene blir da utført med to-skifts drift.

Fullprofilboring som en alternativ drivemetode.

Fullprofilboring av tunneler er nå utviklet så langt at metoden også i Norge kan konkurrere med tunneler utsprengt på tradisjonell måte.

Med fullprofilboring blir hele det

ønskede tunnelverrsnitt boret ut uten benyttelse av sprengstoff. De fleste maskiner er bygget med et dreiehode som sammen med et støvskjold helt dekker tunnelverrsnittet. Mens den øvrige del av maskinen står fastspent mot fjellkonturene, borer dreiehodet ut fjellet i etapper på 80—120 cm. Når én etappe er ferdig boret, løses fastspenningen og resten av maskinen flyttes frem tilsvarende.

Med fullprofilboring unngår man de problemer med støy og rystelser som sprengningsarbeider medfører. Foruten at miljøforstyrrelsene generelt blir redusert, kan tunneldriften om ønskelig også pågå om natten når det i bebodde strøk ellers er sprengningsforbud. Dette gjør at arbeidene med boring, sikring og ved-

likehold lettere kan tilpasses hverandre med henblikk på en optimal utnyttelse av tid, mannskap og maskineri.

For tunnelen mellom Majorstua og Frantzebråten som nå er påbegynt, ble det innhentet tilbud både basert på tradisjonell sprengning og på

fullboring. Denne tunnelen er ca. 5 km lang og man valgte å la den bli fullprofilboret med en diameter på 3,15 m.

Også for resten av tunnelsystemet er det anbefalt at det innhentes alternative tilbud for de to drive-metoder.