

# Metro undervejs

Af Tommy O. Jensen

Selv om byggeriet af Metroen i bevidstheden har stået på i årevis, så er det faktisk kun ti år siden, at Folketinget besluttede at gå i gang med det omfattende projekt. I det følgende bringes nogle af de vigtigste begivenheder i Københavns metros korte historie sakset fra Ørestadsselskabets årsberetninger.

## Juni 1992

Folketinget vedtager den 24. juni 1992 lov nr. 477 „Lov om Ørestaden mv.“, der omfatter etablering af en bybane på den vestlige del af Amager i forbindelse med udvikling af en helt ny bydel på det ubeboede areal.

## Marts 1993

I/S Ørestadsselskabet stiftes den 11. marts af Københavns Kommune og staten ved Finansministeriet. Ejerforholdet er 55% henholdsvis 45%. Selskabet skal bl.a. anlægge og drive første etape af den nye bybane mellem København og de kommende nye bolig- og erhvervsområder i Ørestad. Jørn Meldgård bliver bestyrelsesformand og Anne-Grethe Foss direktør for selskabet.

## Maj 1994

Ørestadsselskabet indgår syv rådgiverkontrakter med det formål at vælge det bedst egnede bybanesystem.

## Oktober 1994

Ørestadsselskabet vælger en førerløs mini-metro i stedet for sporvogn og light-rail.

## December 1994

Folketinget vedtager lov nr. 1091 „Lov om ændring af lov om Ørestaden mv.“ den 21. december. Loven giver grundlag for etablering af bybane-etape 2 mellem Nørreport og Vanløse (Frederiksbergbaneselskabet I/S) og

bybane-etape 3 på Amagerbanens tracé til Lufthavnen (Østamagerbaneselskabet I/S).

## Januar 1995

Borgermøder indledes på Amager om den endelige linieføring af det nye bybanesystem.

## Februar 1995

Frederiksbergbaneselskabet I/S stiftes. Ørestadsselskabet ejer 70% af det nye selskab og Frederiksberg Kommune de resterende 30%.

## Juli 1995

Udbudsmateriale for etablering af første etape udsendes den 7. juli til prækvalificerede tilbudsgivere. Svarfristen sættes til den 2. februar 1996.

## September 1995

Østamagerbaneselskabet I/S stiftes. Ørestadsselskabet ejer 55% af det nye selskab og Københavns Amt de resterende 45%.

## Oktober 1996

Der skrives kontrakt den 3. oktober med COMET (The Copenhagen Metro Construction Group) om at bygge og med italienske Ansaldo Trasporti om at levere og efterfølgende drive Metroen de første fem år. COMET etablerer sig i B&W's gamle administrationsbygning på Refshaleøen.

Tidsplanen angiver at første etape af Metroen vil åbne sidst i år 2000.

## November 1996

Omlægning af kabler, kloak mv. ved de kommende stationer går i gang. Samtidig etableres de første byggepladser.

Detailprojekteringen af Metroen indledes.

## August 1997

Første spadestik tages ved Metroens kontrol- og vedligeholdelsescenter den 21. august.

## September 1997

Frederiksbergbaneselskabet beslutter at forlænge Metroens tunnelstrækning frem til Solbjerg Station og at flytte Frederiksberg Station tættere på Falkoner Alle efter ønske fra Frederiksberg Kommune.

Comet påbegynder jordarbejderne ved Stadsgraven, hvor Metroen skal grene af mod henholdsvis Vestamager og Lergravsparken. Samtidig etableres første tunnelskakt ved arbejdspladsen i Havnegade.

## Oktober 1997

Den første tunnelboremaskine (TBM) ankommer fra Frankrig den 28. oktober, den anden ca. én måned senere.

## Februar 1998

Jernbanetilsynet giver den 13. februar en overordnet sikkerhedsgodkendelse af Metroens transportsystem, dvs. anvendelse af førerløse tog.

De to TBM'er døbes Liva og Betty (efter skuespillerinden Liva Ullmann og teaterdirektør Betty Nansen) ved en ceremoni den 28. februar på Islands Brygge.

## Marts 1998

Borearbejdet går i gang – syv måneder bagud i forhold til tidsplanen. Åbningen i efteråret 2000 fastholdes dog stadig.

Jørn Meldgård går af som bestyrelsesformand, og Henning Christophersen træder ind i stedet.

## April 1998

Model i 1:1 af halvt Metro-tog præsenteres for offentligheden på Kongens Nytorv. Samtidig gøres der klar til bygning af de to første togsæt hos Ansaldo i Napoli.

## Juni 1998

Sidste S-tog mellem Frederiksberg og Solbjerg kører den 20. juni. Anlægsarbejdet til Frederiksberg Metro-station kan gå igang.



Tommy O. Jensen



Torben Lielst

Ørestadsselskabet stiftes  
København 1993

### August-september 1998

Første etape af borearbejdet fra Islands Brygge til tunnelskakt ved Stadsgraven er gennemført. Begge TBM'er flyttes til Havnegade, hvor de starter borearbejdet mod Lergravsparken.

Åbent hus på byggepladserne trækker mellem 15.000 og 25.000 besøgende.

### November 1998

Københavnernes inviteres til „Åben tunnel“ og får lov til at vandre godt 2 km i de færdige tunneller mellem Islands Brygge station og forgreningen ved Stadsgraven. Godt 7000 mennesker prøver Metroen på gåben.

Begge spor er lagt fra Vestamager station til tunnellen ved Islands Brygge station.

### December 1998

Der arbejdes nu på alle ni tunnelstationer med etablering af stationsrum samt på elleve tunnelskakte, der skal tjene som serviceadgang og nødudgange. Bygningerne til klargøringscenteret på Vestamager er færdige og ved at blive indrettet. Byggeriet af højbanen på Vestamager er i fuld gang.

### April 1999

Skitseforslag til Østamagerbanen (Metroens etape 3) præsenteres. Højbaneløsning på dæmning er økonomisk den mest fordelagtige, men vækker betydelig lokal modstand.

Ny tidsplan aftalt i erkendelse af, at arbejdet nu er forsinket ca. tolv måneder. Åbningen udskydes med to år til efteråret 2002.

### Maj 1999

Togsæt 2 ankommer som det første togsæt til Kontrol- og vedligeholdelsescenteret (KVC) på Vestamager. Testkørsler på depotområdet begynder umiddelbart efter.

### December 1999

Borearbejdet Havnegade-Strandlodsvej afsluttes. TBM'er gøres klar til flytning.

### Januar 2000

S-banestrækningen Solbjerg-Vanløse nedlægges Nyårs morgen for at give plads til bygningen af Metroens etape 2B.

Den 18. og 28. januar flyttes Liva henholdsvis Betty (via Refshaleøen for istandsættelse) til Havnegade, hvor borearbejdet skal fortsætte mod Nørreport og Frederiksberg.

### Marts 2000

Etablering af gangtunneller mellem DSB og Metro på Nørreport sættes i gang. S-togsperroner afkortes og DSB iværksætter omfattende informationskampagne.

### Januar 2001

Betty afslutter borearbejdet den 4. januar ved Falkoner Allé.

### Februar 2001

Liva afslutter borearbejdet den 16. februar. Tunnellerne er dermed etableret.

### Marts 2001

Der tegnes kontrakt med bl.a. Ansaldo om etablering af etape 2B (Frederiksberg-Vanløse).



Borearbejdet afsluttes  
Frederiksberg 2001

Torben Liebst

### Maj 2001

Københavns Amtsråd træffer principbeslutning om medvirken til Metroens etape 3. Anlægsudformningen er fortsat uafklaret.

Kontrakt indgås med Arkil-Novejfa om etablering af spor, strømskinne og elforsyning på Metroens etape 2B mellem Frederiksberg og Vanløse. Samtidig tages første spadestik til Vanløse Metro-station, der placeres på det gamle DSB areal („Vanløse lave“).

### September 2001

I alt 785 mennesker har søgt job som Metrosteward. Der skal bruges knap 100 stewardder, når banen åbner.

### November 2001

Metro-tog kører for første gang i tunnellen. Det sker den 6.-7. november på strækningen Islands Brygge-Christianshavn-Lergravsparken.

Etablering af spor på hele etape 1 og 2A afsluttes den 28. november.

### Februar 2002

S-togsperronen på Nørreport genåbner i fuld længde den 11. februar efter bygning af gangtunnel til Metroen.

### April 2002

Trafikministeriet, Københavns Kommune, Københavns Amt og Tårnby Kommune når den 12. april til enighed om udformning og finansiering af Metroens etape 3.

### Maj 2002

Den 22. maj har 18 Metro-tog sammenlagt kørt 100.000 kilometer under test.

### Juni 2002

Første store beredskabsøvelse afholdes den 3. juni mellem Ørestad og Vestamager, hvor der simuleres en afsporing. 80 statister medvirker. Den 12. juni afholdes brandøvelse i tunnelskakt ved Spaniensgade.

Første Metro-søjle rejses den 4. juni ved Amagerbro station.



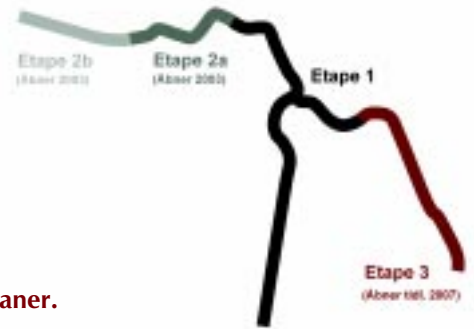
Første store åbent hus arrangement  
Islands Brygge 1998

Torben Liebst

# Bag om Metroen

Af Tommy O. Jensen

Med indvielsen af Metroen i København introduceres et helt nyt jernbanesystem i Danmark. Systemet adskiller sig på flere punkter fra de øvrige etablerede jernbaner.



Metroen er opbygget som et lukket transport-system, der fuldt ud styres fra Kontrol- og vedligeholdelsescenteret (KVC) ved Vestamager station. Metroen har ikke sporforbindelse til andre jernbanesystemer.

Den væsentligste forskel fra andre jernbanesystemer er, at togene fremføres automatisk uden brug af lokomotivførere. Det har været muligt ved hjælp af et fuldt integreret styrings- og sikkerhedssystem, som kontinuerligt holder øje med togenes indbyrdes placering, hastigheder og driftstilstand. Derfor vil passagererne på togene heller ikke se signaler langs sporene.

På højbanen overvåges sporet ud for perronerne af sensorer. På tunnelstationerne vil der ikke være adgang til sporområdet, idet adgang til togene sker gennem glasskydedøre, der åbner synkront med dørene i toget. Man kan nærmest sige, at Metroen er en vandret elevator med stop på alle etager.

En anden nyskabelse er strømskinnen langs sporet, den såkaldte tredjeskinne, som leverer kørestrøm til togene. Strømskinnen har den store fordel, at tunnelprofilen kan udføres med mindre diameter end ved de traditionelle luftledningssystemer. I tillæg har den en stor æstetisk virkning på de åbne baneanlæg, hvor banens forløb ikke forstyrres af master og køreledninger.

For at sikre, at de mange nye tekniske løsninger og muligheder i Metroen fungerer på så sikkert et grundlag som muligt, valgte Trafikministeriet efter forslag fra Ørestadsselskabet at anvende det tyske normsæt BOStrab som kravspecifikation på sikkerhedsområdet. Den praktiske gennemførelse af sikkerhedsvurdering og tilsyn er foretaget af tyske TÜV Rheinland med Det Norske Veritas som underleverandør. Den endelige godkendelse og de overordnede tilsyn foretages af Jernbanetilsynet.

## Metroens linieføring

Fuldt udbygget kører Metroen fra Vanløse station til Frederiksberg station på den strækning, hvor der tidligere kørte S-tog. Fra Solbjerg station forløber banen under jorden i tunnel til stationerne Frederiksberg, Forum, Nørreport, Kongens Nytorv og Christianshavn. Efter Christianshavn deler banen sig i to – mod Vestamager (linie M1) og mod Østamager (linie M2).

Grenen mod Vestamager går til Islands Brygge station, der er en tunnelstation. Herfra går banen op på dæmning og højbane til Universitetet, Sundby, Bella Center og Ørestad for at afsluttes ved Vestamager station. Herfra er der sporforbindelse til Kontrol- og vedligeholdelsescenteret (KVC), som ligger umiddelbart østfor. Banen er forberedt for yderligere stationer nord og syd for Ørestad station.



## Ørestadsselskabets samlede projektorganisation:

Projekteringsledelse:	COWI (DK)
Bygge- og anlægsarbejder:	COWI (DK)
Arkitektur og design:	Arkitektfirmaet KHR (DK)
Miljø:	Carl Bro Gruppen i joint venture med ERM (UK)
Baneteknik:	Konsortiet Kbh's Bybane Konsulentgruppe (DK) ved Rambøll, KHR og Halcrow
Trafik:	Carl Bro Gruppen (DK)
Rullende materiel:	Carl Bro Gruppen (DK)

Samarbejdspartnere er ikke nævnt.

## Firmaerne bag COMET:

- Soletanche Bachy Ltd., (UK)
- Tarmac Construction Ltd., (UK)
- SAE International (F)
- Astaldi S.p.A (I)
- Ilbau Gesellschaft GmbH (A)
- NCC Rasmussen & Schiøtz A/S (DK)



Støbning af bro for højbane  
Ørestad 1998

Jørgen Sibiro Andersen

ste perioder, f.eks. ved gennemgang af tilbudene, har op til 200 mand været beskæftiget med projektet. Efter kontraktunderskrivelsen i oktober 1996 blev rådgiverindsatsen organisatorisk opdelt i tre pakker:

- Projektopfølgning på kontrakter
- Byggeledelse og tilsyn med entrepriser
- Projektering af andre entrepriser, der endnu ikke var udbudt.

## Udførelse

Udførelsen af Metroens etape 1 har været udbudt i EU-licitation i to kontrakter – bygge- og anlægsarbejder samt transportsystem.

Bygge- og anlægsarbejdet omfatter tunnel og tunnelstationer, tunnelskakte, højbane (bro/dæmning) og højbanestationer, andre jordarbejder, ventilationsanlæg mv. Denne opgave blev vundet af COMET (The Copenhagen Metro Construction Group), et konsortium bestående af en række store – fortrinsvis udenlandske – firmaer med forskellig anlægsekspertise.

Transportsystemet omfatter alle leverancer vedrørende transportsystemet og de efterfølgende fem års drift af banen. Dvs. togsæt, skinner, stærkstrøm, kørestrøm, styresystem, informationssystemer, hele Kontrol- og vedligeholdelsescenteret, arbejdskøretøjer og al drift og vedligeholdelse i fem år fra åbningen af første etape. Denne opgave blev vundet af det italienske firma Ansaldo Trasporti S.p.A.

Grenen mod Østamager går til tunnelstationerne Amagerbro og Lergravsparken. Her efter dukker banen op i Amagerbanens gamle tracé nær Amagers østkyst, hvor den fortsætter – overvejende i terrænhøjde – frem til Københavns Lufthavn. Her integreres Metroen i spidsen af „Vingen“, også kaldet terminal 3. Stationerne langs Amagers kyst er ikke endeligt fastlagt, men forventes placeret nær Øresundsvej, Italiensvej, Hedegaardsvej og Alleen.

af tilknyttede konsulenter og rådgivere. Det har givet en slank, smidig organisation, der let kan tilpasses opgavernes skiftende karakter.

Ved projektstarten har rådgiverne bistået med at vælge den bedste løsning blandt tre forskellige transportsystemer: Metro, sporvogn og light-rail. Efterfølgende er der skrevet udbudsmateriale for gennemførelse af detaljeprojektering, leverancer og entreprenørydelser. Arbejdet er foregået i en projektorganisation, der har varieret i størrelse afhængigt af opgavemængderne. I de travle-

## Projektering og rådgivning

Også etableringen af Metroen har været anderledes end det, der normalt kendetegner jernbaneprojekter.

Ørestadsselskabet er organiseret som et rent bygherreselskab med en lille organisation. Flest mulige af selskabets opgaver løses

## Etableringen af Metroen (etape 1 + 2) har omfattet

- 10 km dobbeltsporsstrækning i tunnel
- 11 km dobbeltsporsstrækning på højbane, på dæmning, i terræn og i banegrav
- 9 stationer under jorden
- 8 stationer over jorden.
- 11 tunnelskakte
- 9 omformerstationer
- 1 kontrol- og vedligeholdelsescenter



Eftersyn af TBM på etape 2a  
Forum 2000

Søren Bay

Bag om Metroen

## Stationerne



Torben Liebst

I Metroens etape 1 og 2 anlægges samlet 17 stationer, hvoraf de ni ligger i tunnel. I etape 3 ventes anlagt yderligere fem stationer.

Metro-station på højbane  
Univeristetet 2002

### Tunnelstationerne

Der er anlagt i alt ni tunnelstationer på Metroen. Seks af dem er dybtliggende og tre er højtliggende. De dybe tunnelstationer er i princippet et stort firkantet rum udgravet i jorden – cirka 20 m dybt, 60 m langt og 20 m bredt. Selve perronen ligger i 18 meters dybde. Rummet har fladt tag med ovenlys. Stationens funktioner er lagt inden for dette rum. Fordelen ved denne løsning er, at stationerne kan anlægges i gader eller på pladser, uden at der skal eksproprieres af de omkringliggende bygninger.

Nedgangen til Metroen markeres med en særlig stander – Metrosøjlen. I den er der placeret en skærm, som informerer om toggangen. Fra gadeniveau går man ned ad en trappe til forhallen. Her er yderligere information om Metroen, linieføringskort og an-

den kollektiv trafikinformation, kort over bydelen, samt billetautomater og billetstempelmaskiner.

Fra forhallen kan hele det store stationsrum overskues. Der er frirum fra perronen op til stationens ovenlys. Ovenlysvinduerne fører dagslys og sollys helt ned på perronen. Dagslyset suppleres med kunstlys, der justeres efter lysindfaldet. Om aftenen vil lyset i stationen lyse op gennem ovenlysvinduerne og markere i gadebilledet, at her ligger en Metro-station.

I forhallen er der to rullende trapper ned til perronen og to rullende trapper op fra perronen. Rulletrapperne er forskudt for at holde passagerstrømmene adskilt. Man kan også komme ned til perronen med en elevator, som kører mellem gadeniveau og perron. Elevatoren er af glas af hensyn til passagerernes tryghed.

Perronen er udformet som en ø-perron for at gøre adgangs- og omstigningsforholdene bedst mulige. På perronen vil der være en glasvæg langs perronkanten med døre i. Først når toget holder ved perronen, og togets døre er ud for glasvæggens skydedøre, er der adgang til toget. Fordelene herved er:

- Sikkerhed mod at passagerer falder eller hopper ned på sporet
- Nemmere, bedre og billigere styring af ventilationen på stationer og i tunnel
- Bedre indeklima
- Større sikkerhed for synshæmmede passagerer

På perronen er der opsat skærme med aktuelle informationer om driften. Skiltene vil f.eks. angive togets endestation, antallet af minutter til næste tog og information, hvis driften er uregelmæssig. Stationens informationssystem består tillige af en række højttalere, hvorfra passagererne parallelt med skiltningen får besked om toggangen. Endvidere er hele stationen kameraovervåget, så personalet i kontrolrummet kan se, hvad der foregår på stationen. Ønsker passagererne hjælp, kan kontrolrummet kontaktes på et af de to opkaldssteder, der er på perronen.

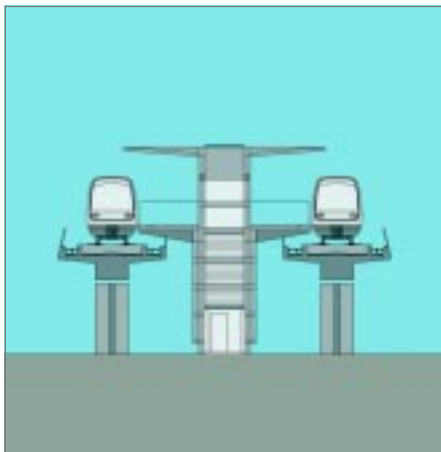
Langs siderne af stationen er der etableret en række teknikrum. Disse teknikrum rummer blandt andet elforsyning og ventilation. Ventilationen sørger for et behageligt klima i Metroen og er samtidig en vigtig faktor, hvis der skulle opstå brand.

Tunnelstationerne er anlagt oppefra og ned. Princippet er, at der først etableres en

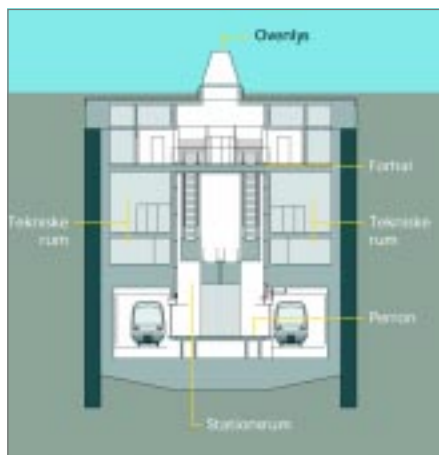
### Gennemsnitligt interval mellem togene over et døgn

Tidsrum	Vanløse-Christianshavn	Christianshavn-Vestamager Christianshavn-Lufthavnen
01-05	15 min.	15 min.
05-06	4 min.	8 min.
06-09	3 min.	6 min.
09-15	4 min.	8 min.
15-18	3 min.	6 min.
18-01	4 min.	8 min.

Efter en indkøringsperiode bliver tidsintervallerne i dagtimerne mindre. Den gennemsnitlige rejsehastighed bliver ca. 40 km/t.



Grafik: Ørestadsselskabet



Tværsnit af dybtliggende tunnelstation.

Tværsnit af højbane station.

vandtæt ydre væg rundt om stationsrummet. Herefter graves selve byggegruben inden for afstivningen. På den måde sikres det, at arbejdet kan foregå i en stabil og tør byggegrube, som er sikret mod vandindtrængning, samtidig med at sænkning af grundvandspejlet kan minimeres. Især en sænkning af grundvandspejlet kan medføre sætninger på de omkringliggende huse. Dele af København er funderet på træpæle, som befinder sig under vand. Hvis disse fundamenter blotlægges, fordi grundvandet sænkes, vil fundamentet i værste fald blive nedbrudt på ganske få år som følge af svampeangreb.

### Stationer over jorden

Godt halvdelen af Metroens 1. og 2. etape ligger „udendørs“ – enten i terrænhøjde eller på dæmning/højbane. På denne del ligger der otte stationer, heraf to oprindelige DSB S-togsstationer: Vanløse og Lindevang.

Stationerne ligner i funktion og indretning tunnelstationerne. De har for eksempel

samme type perronindretning, informationskilte, kameraovervågning og opkaldssteder som tunnelstationerne.

Indgangen til stationen markeres også her med en Metro-søjle. På højbanestationerne vil der nede i gadeniveau være en forhal, der er indrettet lige som tunnelstationernes forhal. Fra den er der trapper op til perronen samt en glaselevator mellem gadeniveau og perron.

Udendørsstationerne er i lighed med tunnelstationerne udformet med ø-perroner. Alle stationerne er åbne stationer, så der vil være opsat læskærme. Der er ingen glasvæg ud mod toget som på tunnelstationerne, men et elektronisk overvågningssystem, der omgående standser toget, hvis der er fremmedlegemer på sporet.

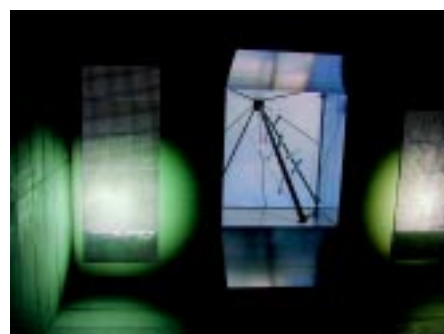
Stationerne er opbygget som lette stål- og glaskonstruktioner for at undgå, at de får et massivt og dominerende udseende i det kommende bybillede i Ørestaden. Foran alle stationer bliver der etableret en forplads med let adgang til bl.a. busser, taxaer, personbiler og cykelparkering.

### Rejsetider fra Nørreport

Vanløse	9 min.
Flintholm	8 min.
Lindevang	7 min.
Solbjerg	5 min.
Frederiksberg	4 min.
Forum	2 min.
Nørreport	0 min.
Kongens Nytorv	2 min.
Christianshavn	3 min.
Islands Brygge	5 min.
Universitetet	7 min.
Sundby	9 min.
Bella Center	10 min.
Ørestad	12 min.
Vestamager	14 min.

Nørreport	0 min.
Kongens Nytorv	2 min.
Christianshavn	3 min.
Amagerbro	5 min.
Lergravsparken	7 min.
Øresundsvej *)	8 min.
Italiensvej *)	10 min.
Hedegaardsvej *)	12 min.
Alleen *)	14 min.
Lufthavnen *)	16 min.

Stationsnavne markeret med \*) er de foreløbige arbejdsnavne.



Tommy O. Jensen



Grafik: Ørestadsselskabet

## Bag om Metroen

# Strækningen

**Metroens 1. og 2. etape er 16,2 km lang. Heraf forløber de 9,3 km i tunnel. Når 3. etape tages i brug, bliver den samlede Metro-strækning 20,5 km lang.**

### Tunnelstrækningen

Metroens tunnel løber under det indre København gennem de øverste kalklag. Tunnellen er på det dybeste sted ca. 33 m under terrænoverfladen. Der er boret og anlagt i alt ni km dobbeltrøstunnel. Resten er udført som støbte tunneller.

Tunnellen består af to tunnelrør, som løber side om side i samme højde gennem hele linieføringen bortset fra der, hvor de to grene skilles. Tunnellen er udformet, så den tager et dyk mellem stationerne. Denne konstruktion har muliggjort, at tunnelboringen primært kunne udføres nede i stabile kalklag, mens stationerne er bygget nærmere overfladen. Dette princip er økonomisk fordelagtigt såvel i anlæg som i drift, idet niveauforskellene før og efter stationerne mindsker togets energiforbrug under acceleration.

Mellem Metro-stationerne er der etableret tunnelskakte (nødtrapper) for hver 600 meter således, at der højst vil være 300 meter til nærmeste nødudgang. Skaktene har samtidig en ventilationsmæssig funktion.

Indvendigt fremstår tunnellen som en glat cylinder, der er bygget af ringe, som hver er dannet af seks beton-elementer. Langs den ene side af tunnellen er der et 70 cm bredt fortovej. Det bruges, hvis det i en nødsituation bliver nødvendigt at evakuere passagerne fra et tog gennem tunnellen til nærmeste nødudgang. Den primære flugtvej er imidlertid direkte nede på sporet – mellem

skinnerne. Disse er monteret på en støbt, jævn flade uden synlige sveller eller andre tværliggende forhindringer.

Under nødforlovet ligger kabler, rør og vandledninger til brandberedskabet. Langs siden af tunnellen er der endvidere opsat belysning, så passagererne kan orientere sig i tilfælde af evakuering.

### Byggemetoder i tunneldelen

Der er anvendt tre udgravningsmetoder til tunnellen – boring, Cut & Cover og NATM (New Austrian Tunneling Method).

Langt den overvejende del af tunnellen er udført som *boret tunnel*, fordi det er den sikreste og mest skånsomme metode for omgivelserne. Det er foregået med en tunnelboremaskine (TBM) af typen Earth-Pressure Balance. Det betyder, at den første del af boremaskinen med bl.a. borehovedet arbejder i et udgravningskammer, der kan afspærres, såfremt der er vandførende lag i undergrunden.

Selve borehovedet er opbygget som en stor roterende skive, hvorpå der er monteret et antal skæreskiver og skraber. TBM'en bevæger sig fremad ved, at boreskiven drejes rundt af drivmotorer og hydraulik. Antal og udformning af skæreskiver og skraber afhænger af de jordlag, der børes i. I bløde jordlag anvendes skraber, mens man i hårde jordlag bruger skæreskiver til at knuse ma-

### Tekniske data for tunnellen

Max. dybde fra jordoverflade	33 m
Afstand mellem tunnelskakte max.	600 m
Skaktdybde	25-33 m
Ydre tunneldiameter	5,5 m
Indre tunneldiameter	4,9 m

terialet. Kalklagene, som Metroens tunnel er boret i, viste sig også at indeholde flint. Når materialet er knust, transporteres det ud af udgravningskammeret via en transportsnegl til små arbejdstog bag ved TBM'en.

Når boremaskinen arbejder i områder med stor vandtilstrømning, afspærres udgravningskammeret fra resten af boremaskinen og tunnellen således, at der i kammeret opstår et tryk, der forhindrer, at vand trænger ind i tunnellen. Når maskinen arbejder i denne situation, sikrer det friborede materiale og en altid fyldt snegl, at trykket i udgravningskammeret opretholdes. Bag ved borehovedet sidder en arm, der kan løfte og montere de betonelementer, som tunnellen føres med.

I tunnellen bag TBM'en er det udgravede materiale blevet kørt til arbejdspladserne ved Islands Brygge, Havnegade og Søpavillonen af små smalsporede arbejdstog. Ved Havnegade tog man kalken og jorden op fra arbejdstoget og lastede det via kran på pramme og sejlede det bort. Ved de øvrige arbejdspladser er jorden blevet kørt bort på lastbiler.

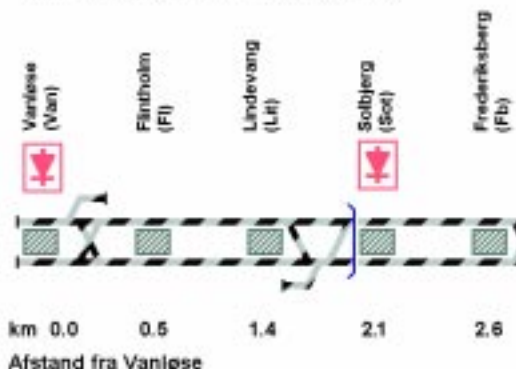
Elementerne til tunnelkonstruktionen blev sænket ned ved arbejdspladserne og transporteret med arbejdstoget ind i tunnellen til TBM'en. Metoden med at sejle materialer til og fra arbejdspladsen har sikret, at byen i størst muligt omfang er blevet skånet for tunge lastbiler, som ellers skulle transportere materialer til og fra tunnellen.



Orestadsstakskabet / Thomas Ipsen

Boret tunnel  
Islands Brygge 2000

Under udførelse, åbner 2003 (etape 2)





Torben Liebst

Kig mod nord fra Ferrings højhus  
Ørestad 2002

Cut & Cover-metoden er bl.a. blevet benyttet til de ramper, som fører tunnelen op til terrænoverfladen ved Solbjerg samt Islands Brygge og Strandlodsvej. Ved denne metode anlægges tunnelen ovenfra, ved at man graver en stor åben rende i jorden, hvori tunnelen støbes.

NATM, der er en underjordisk metode, er anvendt, hvor der på tunnelstrækningen skal være afgrening/sammenløb eller tværforbinding mellem to tunnelrør – dvs. ved Stadsgraven og ved nødtransversalerne i tunnelen. Disse steder anvendes en større diameter på tunnelen, end TBM'en er i stand til at lave. Boring ved denne metode kræver

stabile jordforhold, da boringen foretages med en gravemaskine monteret med hydraulisk fræser. Under udgravningen foretages en midlertidig afstivning med sprøjtebeton og stålbuer. Herefter støbes den endelige væg i beton.

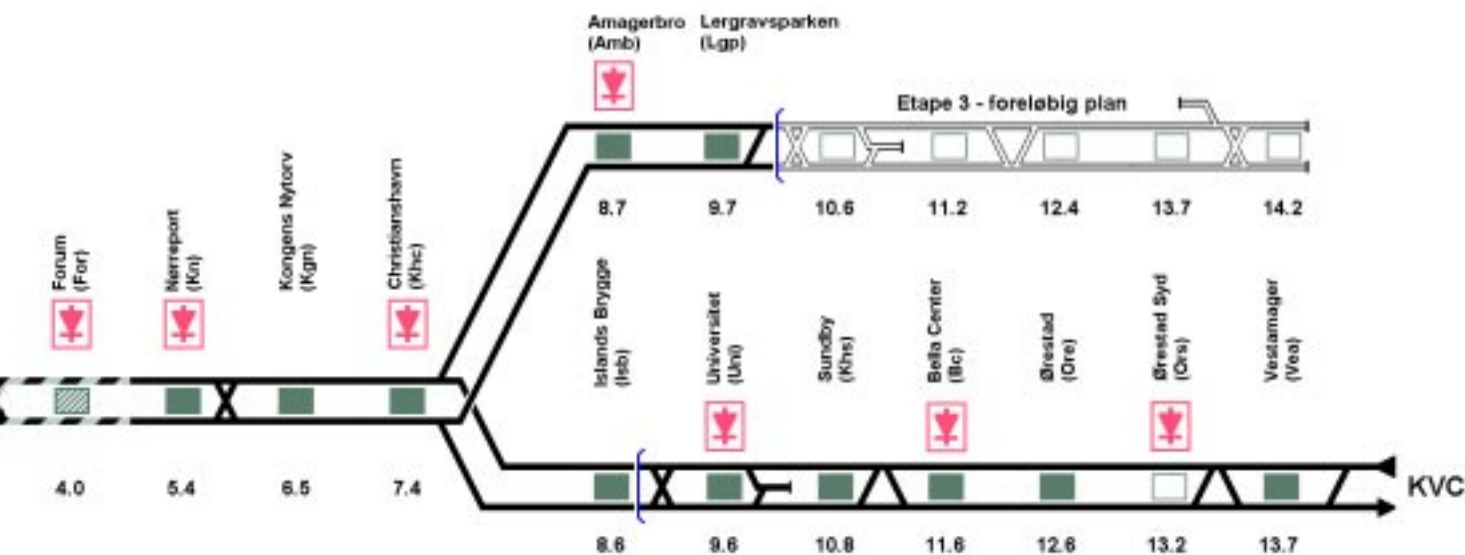
## Højbanen

I Ørestad kører Metroen på højbane og på dæmning. Højbanen er udført som to enkeltbroer på smalle bærepiller, så lyset kan passere ned mellem de to broer. Højbanen er valgt for at forhindre, at Metroen skal komme

til at virke som en barriere, der deler Ørestadsområdet i to.

Af naturhensyn og af økonomiske årsager er dele af strækningen på Vestamager dog på dæmning. Dæmningerne er udført som gabionsvægge (sten- og skærfyldte metalgitterkonstruktioner), hvis stejle, bevoksede sider samtidig fungerer som naturhegn.

På Frederiksbergbanen vil Metroen køre på den gamle S-banes tracé fra et punkt mellem Solbjerg og Lindevang station og frem til Vanløse station. For at hindre uvedkommende færdsel på sporene er der her bygget gabionsvægge langs tracéet.



Grafik: Tommy O. Jensen



## Bag om Metroen

# Spor og kørestrøm

De fleste af Metroens sportekniske anlæg er traditionelle jernbaneløsninger, men der er valgt varierende sporkonstruktioner alt efter, hvor på banen det er.

### Sporkonstruktion

Skinnerne er af type UIC 54. De er udlagt med normalsporvidden 1435 mm.

Alle spor i det fri er opbygget som traditionelt spor i ballast på betonsveller. I tunnelen er der af hensyn til arbejdsmiljøet – og for at opnå en god renholdning – valgt en anden sporkonstruktion. Her er svelleblokke under hver enkelt skinnestreg udlagt i en gummi-galoche, som efter justering af sporet er blevet sammenstøbt med selve tunnelkonstruktionen. Under særligt følsomme bygninger som Nationalbanken og Radiohuset er der anvendt en særligt vibrationsdæmpende metode i form af „flydende“ sporkonstruktion.

Hele strækningen er dobbeltsporet. Undervejs er der udlagt transversaler og vende spor for at sikre en smidig driftsafvikling og give mulighed for tættere trafik på dele af strækningen. Sporskifterne er som noget nyt i Danmark af „swing nose“ typen, dvs. med bevægeligt hjertestykke.

### Strømforsyning via strømskinne

Metro-toget forsynes med strøm via en såkaldt tredjeskinne, som følger hele strækningen. Fra undersiden af den overføres strømmen til oversiden af en „sko“ på siden af toget. Sko og strømskinne er af aluminium med en påvalset slidflade af rustfrit stål.

Strømskinnen er opdelt i sektioner. Sektionerne skiller ved omformerstationerne samt midt imellem disse. Sammenkobling af sek-

tioner sker med fjernbetjente motordrevne koblere. Herved kan sektionerne udkobles f.eks. ved eftersyn af spor og ved uheld.

Det er første gang, at en bane i Danmark bliver forsynet med strømskinne af den afdækkede type, der kendes fra mange andre metrosystemer i bl.a. Tyskland og Frankrig.

Strømskinneløsningen er valgt, fordi tunneldiameteren så kan mindskes i forhold til en løsning med et traditionelt køreledningsanlæg samt for at undgå køreledningsanlæg i Ørestad.

### Kørestrømforsyning

Kørestrømmen er 750 V DC (jævnspænding). Til forsyning af strømskinnen er der etableret ni 750 V DC-omformerstationer. De er placeret i teknikrum på Metro-stationerne Vanløse, Solbjerg, Forum, Nørreport, Christianshavn, Amagerbro, Universitetet, Bella Center og KVC – altså omtrent på hver anden station. Placeringen af omformerstationer på Østamagerbanen er ikke endeligt fastlagt, men vil formentlig ske på stationerne ved Øresundsvej, Hedegaardsvej og Lufthavnen.

Hver omformerstation er forsynet med et 1,5 MVA-ensretteranlæg samt et inverteranlæg, der returnerer togenes bremseenergi til el-nettet som vekselstrøm. Såvel ensretteranlæg som inverteranlæg er tilsluttet Metroens 10 kV-koblingsanlæg.

På 750 V-siden er der etableret et fordelingsanlæg med fire afgangsfelter – ét til hvert spor i hver retning. Hvert afgangsfelt er udstyret med fjernstyrede afbrydere og mikro-



Jonas Silbro

processorbaseret relæbeskyttelse. Ved overbelastning af strømskinnen eller ved kortslutning vil udkobling af afbryderen ske automatisk med alarm til KVC.

### Højspændingsforsyning

Metroen har sit eget 10 kV-fordelingsnet til forsyning af omformerstationer, stationsanlæg, ventilationsskakte og KVC. Systemet er opbygget som redundante net (net, som kan erstatte hinanden), hvor alle forsyningspunkter har to af hinanden uafhængige 10 kV-tilgange.

Forsyningen fra Københavns Energis (KE) og Frederiksberg Kommunale Elforsynings (FKE) hovedtransformerstationer sker med egne 10 kV-kabler til hvert endepunkt i fire netværk. Herefter går der et 10 kV-kabel via koblingsanlæg ved hver station til det andet endepunkt. Udkobles et 10 kV-kabel pga. fejl, vil alle stationer således fortsat blive forsynet. Som standard er alle stationer udrustet med et 10 kV-fordelingsanlæg med effektafbryder for begge tilgange og alle afgange.

Ud over forsyning til omformeranlæg forsynes to hjælpekræfttransformere fra 10 kV-anlægget. Disse transformere forsyner stationens elektriske installationer (230/400 V AC) såsom lys, ventilation, kontrolanlæg mv.

Forsyning til togkontrolanlæg, sikkerhedsudstyr og nødlys sker gennem to såkaldte UPS-anlæg. Det er anlæg, som ved forstyrrelser eller bortfald af forsyningsnettet sikrer den fortsatte elforsyning ved hjælp af et batteri og en inverter.

Strømskinne, Lindevang 2002



Jørgen Silbro Andersen

Sporskifte med bevægeligt hjertestykke, Islands Brygge 2002



Jørgen Silbro Andersen

## Bag om Metroen

# Sikkerhedssystemet

Den førerløse Metro styres af flere tekniske systemer, der alle overvåges fra et kontrolrum i Kontrol- og vedligeholdelsescenteret i Ørestaden.

### ATC-systemet

#### - det overordnede togstyresystem

ATC-systemet (Automatic Train Control) er det fuldautomatiske styresystem, som gør det muligt for toget at køre uden fører.

Systemet er integreret i togene, i sporene, på stationerne og i kontrolrummet. Teknikken i systemet sikrer, at togene i Metroen standser ved stationerne, åbner og lukker dørene, forlader stationerne, holder korrekt fart og holder indbyrdes afstand.

ATC-systemet består af tre delsystemer med hvert sit formål – et togbeskyttelses-, et togstyrings- og et overvågningssystem.

### Togbeskyttelsessystemet ATP

ATP-systemet (Automatic Train Protection) udfører en række funktioner, der sikrer passagerer, personale og materiel mod uheld som for eksempel sammenstød, for høj hastighed og forkert indstillede sporskifter samt kontrollerer, at dørene er lukkede inden afgang.

Der findes forskellige filosofier for opbygning af ATP-systemer. På Metroen er ATP-systemet et blokbasert ATP-system, hvor strækningen er opdelt i sporsektioner ligesom S-banens HKT-system. Når et tog befinder sig i en sporsektion, kan intet andet tog køre ind i samme sektion. Der er en række undtagelser blandt andet ved stationerne, hvor der er et overliggende „flydende“ blok-system, som gør, at togene kan køre tættere på et forankørende tog.

### Togstyringsystemet ATO

ATO-systemet (Automatic Train Operation) eller autopiloten styrer togene efter en fastlagt køreplan ved at udføre forudprogrammerede standsninger ved stationerne, åbne og lukke dørene og kontrollere, at holdetiden ved stationerne overholdes. Endvidere sætter systemet toget i gang efter ophold ved stationerne.

### Overvågningssystemet ATS

ATS-systemet (Automatic Train Supervisory) overvåger status for alle delsystemer og alle tog, der er i drift. Det sker ved at styre og koordinere den samlede trafikafvikling og vedligeholde en skematisk oversigt over hele linien for operatørerne i kontrolrummet. Samtidig gives løbende statusinformation for hvert enkelt tog (om for eksempel position og hastighed), for stationer, sporskifter og andet udstyr på banen.

Systemet sørger også for at registrere alarmer, fejl og andre hændelser for alt udstyr på banen. Samtidig sørger det for, at alle de processer, der udføres i styresystemet og af operatørerne, bliver registreret.

Fordelen ved at benytte denne niveaudeling af ATP, ATO og ATS er, at det så kun er ATP-delen, der er sikkerhedskritisk. Det er den eneste del, hvor der skal være fuld sikkerhed for, at systemet aldrig fejler. Hvis der for eksempel opstår en fejl i ATO-delen af systemet, vil ATP-systemet gribe ind, inden det fører til uheld. Den sikkerhed opnås



Ørestadsselskabet/René Strandbygaard

ved at kvalitetssikre og teste ATP-systemet efter fastlagte standarder.

Princippet i ATP-systemet stammer fra århundredeskiftet, hvor de første metroer blev udrustet med ATP-systemer. ATO og ATS har været i drift siden 1961 i eksempelvis metroen i Paris. Næsten alle større jernbaner og metroer har en eller anden form for ATP-system, og mange undergrundsbaner har i mange år haft drift med ATS og ATO. Det eneste, føreren gør i disse metroer, er at trykke på en knap for at lukke dørene og starte toget, som derefter kører automatisk til næste station. I Frankrig, Canada og Japan findes en række førerløse metro-systemer, der har fungeret i mere end 15 år.

Skridtet fra et ATO-system til et fuldstændigt førerløst system består hovedsageligt i at automatisere dørlukningen og i at bremse toget præcist. Dørlukningen er udformet, så ingen eller intet sidder fast i dørene, når toget sætter i gang.

Hvis ATP-systemet registrerer, at blot én af dørene ikke kan lukke og låse fuldstændigt, kan toget ikke afgå. Tilsvarende er målbremsning vigtig i et førerløst system, fordi toget skal stoppe relativt præcist ved perrondørene på tunnelstationerne.

Toget er derfor udstyret med flere kilometertællere, der fra ATC-systemet konstant opdateres med deres præcise position, og som indbyrdes sammenligner resultaterne. Samtidig kontrollerer også ATC-systemet togets præcise position på stationen, før det åbner dørene.

### SRO-systemet

#### - overvågning af tekniske systemer

Ud over styresystemet ATC er der en lang række andre tekniske systemer på Metroen – kørestrøm, anden stærkstrøm, rulletrapper, elevatorer, informationstavler, kameraer, alarmer på dørene, alarmer i tunnelen, pumper i tunnelen, ventilationsanlæg, overvågning af elektrisk udstyr og meget mere.

Alle disse selvstændige systemer styres og overvåges af et integreret SRO-system (Styring, Regulering og Overvågning). Med SRO-systemet kan personalet i kontrolrummet til enhver tid få en status, så de kan tænde/slukke/indstille de enkelte tekniske systemer på Metroen efter behov. SRO-systemet og ATC-systemet er to selvstændige systemer, men de kan udveksle informationer med hinanden.



Balise for lokalisering af tog ved perron  
Sundby 2002

Tommy O. Jensen

Bag om Metroen

## Kontrol- og vedligeholdelsescenteret



KVC set fra Ferring hus  
Ørestad 2002

Torben Liebst

**Metroens hjemsted er Kontrol- og vedligeholdelsescenteret på Vestamager. Det er her, togene klargøres, vedligeholdes og parkeres, når de ikke er i drift.**

Kontrol- og vedligeholdelsescenteret (KVC) ligger i den sydligedel af Ørestaden øst for Vestamager station. Der er 11.000 m<sup>2</sup> bygninger, som indeholder kontrolrum, klargørings- og vedligeholdelsesfaciliteter til togene samt administration.

KVC er delt op i to hovedområder:

- Et klargøringsområde, hvor togene vaskes, afprøves og parkeres.
- Et vedligeholdelsesområde, hvor togene efterses og repareres.

Under normal drift kommer toget ind fra hovedlinien og kører gennem klargøringsområdet og det automatiske vaskeanlæg, inden det parkeres på et af opstillingssporene klar til afgang.

Større tekniske eftersyn og reparationsarbejder sker i vedligeholdelseshallen. Toget logges ud af det automatiske system og køres manuelt ind i et af hallens vedligeholdelsesspor afhængigt af, hvad der skal ske med det.

Der er særlige spor til indvendig og udvendig vedligeholdelse, til graffiti-bekæmpelse og til bogieudskiftning samt et spor med en hjulafdrejningsmaskine. Sidstnævnte bruges til at afdreje (slibe) togets hjul, så de

er ordentligt runde. Hjulafdrejningen er sammen med slibning af skinnerne de vigtigste middele mod støj, vibrationer og dårlig kørselskomfort.

Filosofien bag vedligeholdelsen på Metro-systemet er, at der udskiftes hele komponenter. De sendes til reparation hos leverandøren i stedet for, at man reparerer dem på stedet. Herved opnås, at togene opholder sig kortere tid i vedligeholdelseshallen og mere tid i drift. Det giver en højere produktivitet og mindre behov for investering i tog.

På området er der udover bygningerne ca. 5 km jernbanespor til parkering og rangering af tog samt et 800 m langt permanent prøvespor til brug for afprøvning af tog efter vedligeholdelses- og reparationsarbejder. Et andet karakteristika for jernbaneanlægget på KVC, er kurver med meget lille radius i forhold til traditionel jernbane. Mens de krummeste kurver på passagerstrækningerne har radier på ned til 125 m, så er mindste kurveradius på KVC's område helt nede på 50 m.

Området er indhegnet og sikret mod indtrængen dels af sikkerhedsmæssige grunde (strømførende skinnestrækninger), dels for at beskytte togene mod eventuelle graffiti-malere.

Udover at være base for de føreløse tog, er KVC også hjemsted for vedligeholdelseskøretøjer til spor og tunnelanlæg. Et af køretøjerne er et treakslet diesellokomotiv, der kan anvendes ved såvel bane- og tunnelarbejder som ved bjergning af nedbrudte tog togsæt.

### Kontrolrummet

I kontrolrummet vil 4-5 driftsledere døgnet rundt overvåge den automatiske drift af banen. Typisk vil to af dem beskæftige sig med overvågning eller styring af selve driften. Under normale forhold skal de blot overvåge, da Metroen kører fuldautomatisk. Kun



Jonas Sillero

ved uregelmæssigheder griber de ind i systemet for hurtigst muligt at genoprette den normale drift. En tredje tager sig af al kommunikation – højtalerudkald, publikumsskærme, overvågningskameraer på stationer og i tog samt kontakt med opkaldssteder og togpersonale. En fjerde overvåger strømforsyningen, driften på KVC og SRO-systemet.

I tilfælde af fejl på tog, stationer eller baneanlæg, er der på KVC stationeret et teknisk „udrykningshold“, der øjeblikkelig kan rykke ud til fejkstedet. Holdet består af teknikker med viden indenfor ATC og SRO-systemerne og højspændingsteknik.

### Metrostewards

Alle tog fremføres førerløse, men bemandede med Metrostewards. Deres rolle er primært at hjælpe passagerne, kontrollere billetter, træde til i nødsituationer og iøvrigt at skabe tryghed ved deres tilstedeværelse.

I tilfælde af fejl på togsæt eller baneanlæg, f.eks. udkobling af kørestrøm, har stewarden direkte radiokontakt til kontrolrummet og til hinanden. Bliver det nødvendigt at rømme et tog eller stationer, er stewarderne uddannet til disse situationer.

## Metro

### Kilder og baggrundsmateriale:

Årsberetninger 1993 - 2001

Introduktion til Københavns nye trafiksystem, Ørestadsselskabet 2001

[www.m.dk](http://www.m.dk)

[www.ansaldo.dk](http://www.ansaldo.dk)

[www.comet.dk](http://www.comet.dk)

Tak til Ørestadsselskabet for velvilligt at stille information til rådighed



Kontrolcentret i KVC  
Ørestad 2002

Ørestadsselskabet/René Strandbygaard



Vedligeholdelseshallen  
KVC, Ørestad 1999

Jonas Sibbro

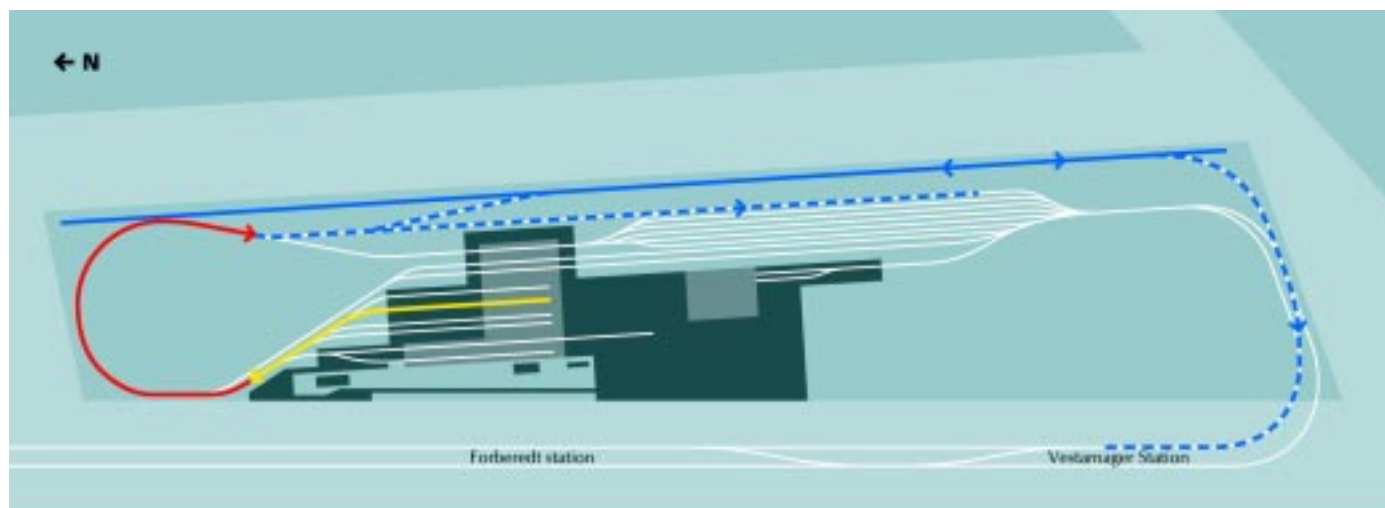
Togets bevægelse efter vedligehold:

**GUL** kørevej - toget køres manuelt ud til overgangszonen, hvor det checkes ind i det automatisk system.

**RØD** kørevej - kører automatisk til testsporet.

**BLÅ** Kørevej - På testsporet gennemføres en række test: bremses, kommunikation, styresystem etc.

Efter test kører toget til opmarchområdet eller direkte i drift (stiplet BLÅ)



Grafik: Ørestadsselskabet