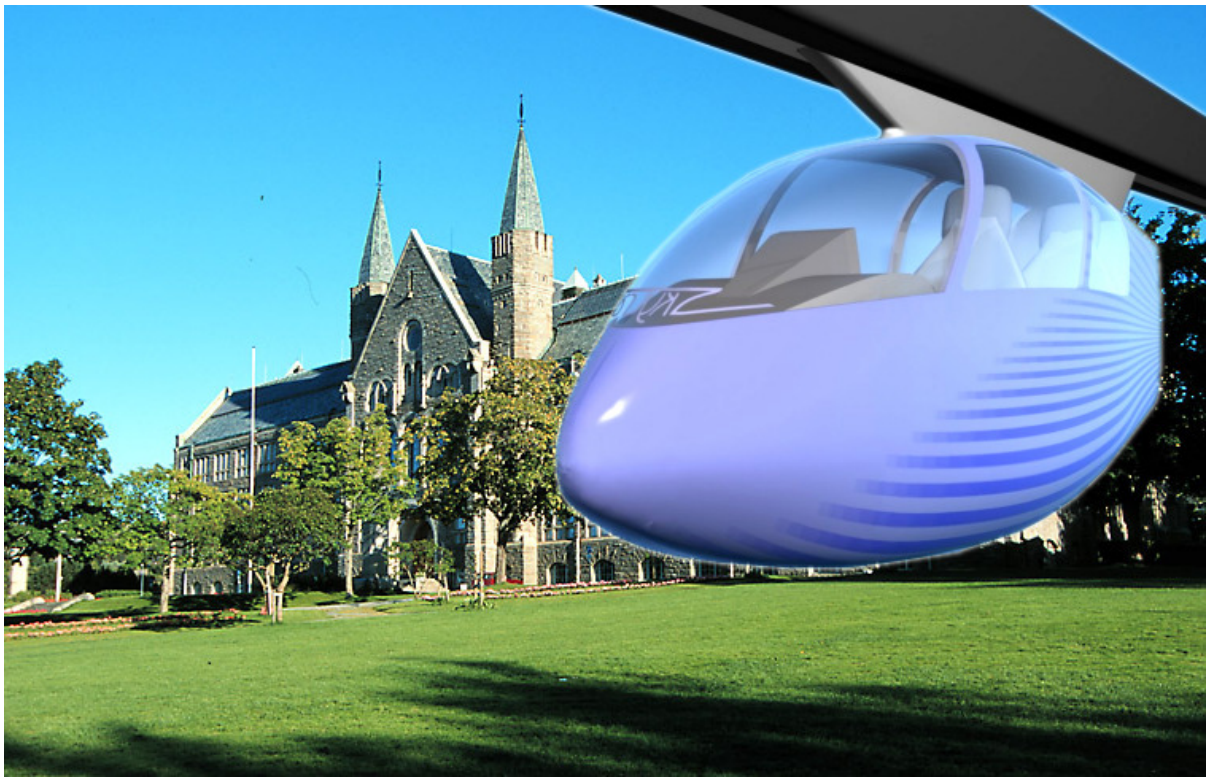
Magnetiske svevevogner i Trondheim



Eksperter i Team våren 2005

Landsby 17 – Teknologi for en bedre verden

Gruppe 3

Ella Beate Brodtkorb
Erlend S. Klepaker
Johan Ho
Mari Rørtveit
Ingvild Bakke Fagereng

Forord

Dette er fagrapporten i faget TTK 4850 Eksperter i Team. Eksperter i Team er et tverrfaglig prosjektarbeid der studenter fra forskjellige studier skal bruke sin fagkunnskap til å løse en oppgave i et team.
Dette er resultatet av arbeidet som har foregått gjennom hele vårsemesteret i 2005.

Temaet for landsby 17 er ”Teknologi for en bedre verden”:

Teknologien kan være menneskenes og naturens venn eller fiende. Denne landsbyen inviterer studenter som har et bevisst forhold til begge disse aspekter, til først å finne fram til et prosjekt hvor teknologi kan gjøre en positiv forskjell for mennesker og/eller miljø, og så gjennomføre dette prosjektet. Dette er en svært "vid" landsby, som gir den enkelte gruppe mulighet til sjøl å finne på sitt prosjekt. Prosjektet kan være det meste, fra "oppfinnelse" og utvikling av en konkret gjenstand/produkt, til en vurdering og beskrivelse av hvordan noe nytt kan produseres og lanseres - eller det kan være en løsning på et samfunnsmessig problem. Den eneste betingelsen er at teknologi spiller en viktig rolle i produktet/løsninga. Motivasjonen for landsbyen er at teknologi fortsatt og i alt for liten grad anvendes for å bidra til forbedringer eller løsninger på samfunnsmessige problemer og behov. Det er av interesse å komme opp med ideer til slike prosjekter, utrede tekniske løsninger, samtidig som man drøfter og konkluderer angående eventuelle etiske og/eller politisk problematiske sider ved forslaget. Prosjektet skal helst (men må ikke) være slik at det har nytte av deltaking både fra studenter i teknologisk-naturvitenskapelige fag, og fra studenter med samfunnsfaglig- og/eller humaniora-bakgrunn.

Videre vil selve arbeidsprosessen bli grundig beskrevet i en prosessrapport.

Vi har fått innspill fra flere personer gjennom arbeidet med oppgaven og vil gjerne takke
Landsbyleder Trond Andresen
Eirin Olaussen Ryeng, førsteamanuensis på institutt for veg og samferdsel
Arno Mong Daastøl fra InnoTrans.

Trondheim, 27.04.2005

Ella Beate Brodtkorb,
Energi og miljø

Mari Rørtveit,
Teknisk kybernetikk

Johan Ho,
Datateknikk

Erlend Søreide Klepaker,
Informatikk

Ingvild Bakke Fagereng,
Produktutvikling og produksjon

Innholdsfortegnelse

1 Innledning – å gjøre verden til et bedre sted. 1
2 Dagens trafikksituasjon i Trondheim 5
2.1 Dagens biltrafikk i Trondheim 5
2.2 Alternativer til bil i dag 10
3 Taxibane 14
3.1 Introduksjon 14
3.2 Historie 14
3.3 Prosjekter rundt om i verden 16
3.4 Felles fordeler med alle systemene 22
4 Magnetisk sveving 23
4.1 To prinsipper 23
4.2 Transrapid 24
4.3 Superledende spoler og EDS 25
4.4 Permanentmagneter og EDS 25
4.5 EDS, sikkerhet og fart 26
5 Vår versjon 28
5.1 Introduksjon 28
5.2 Struktur 29
5.3 Funksjon 39
5.4 Sikkerhet 46
5.5 Tilgjengelighet 50
5.6 Tanker til slutt 51
6 Økonomi 53
6.1 Investeringskostnader 53
6.2 Driftskostnader 54
6.3 Energiforbruk 54
6.4 Miljøkostnader 57
6.5 Et regneeksempel 58
7 Simulering 59
7.1 Simulatoren 59
7.2 Simuleringer 61
7.3 Resultater 65
7.4 Konklusjon 66
8 Hva skal til for å få det realisert? 68
8.1 Catch 22 68
8.2 Crossing the Chasm 69
8.3 Hvordan få aksept for ny teknologi 69
9 Konklusjon 73
10 Ordliste 75
10.1 Utrykk 75
10.2 Selskaper 76
10.3 Prosjekter og konsepter 76
11 Kildereferanser 78
12 Opphavsrett 79

1 Innledning – å gjøre verden til et bedre sted.

Det er mange ting man kan ta tak i om man vil gjøre verden til et bedre sted. Der er store utfordringer innenfor miljø, menneskerettigheter og fredsarbeid som hver for seg også byr på mangfoldige og sammensatte problemstillinger. Man kan strande i undring over hvilken ende det er lurt å begynne i for å gjøre verden til et bedre sted. Like fullt er det en ambisjon man bør ha som deltaker i landsbyen ”Teknologi for en bedre verden.” Som teknolog og bevisst samfunnsborger er man smertelig klar over at teknologi ikke alltid bare har vært bra for verden. Det er flere sider ved enhver teknologi, og det er en utfordring å se alle disse før teknologien tas i bruk. Det er likevel verdt et ærlig forsøk. Valget falt på en oppgave med fokus på miljø og kvalitet. Den lyder som følger:

> *Vi ønsker å beskrive et scenario der tilnærmet all persontrafikk innafor bomringen i Trondheim erstattes med magnetiske svevevogner*

*****

Jonas er litt grinete. Han bruker lang tid på å få med seg beina når vi går mot holdeplassen. Det går litt fortere når jeg lover at han skal få snakke med stemmen i vogna. Jeg håper han skal klare å gjøre seg forstått. Ejjene er ikke helt på plass ennå. Det er fullt av ørsmå vanndråper i lufta og vinden tar tak. Det er Trondheim. Vi rekker akkurat å se Hansen fra over gata krangle med seg gåstolen inn i vogna og suse av gårde før vi kommer fram. Hansen kan krangle med alt. Det er ikke noe spesielt med disse vognene.

Treåringen griper rundt rekkverket og klatrer opp trappene. Han er på høyden av trassalderen. Håper jeg. Det kan jo være at denne kroppen skal sette en ny standard. Han ser hardt på meg når jeg passerer billettautomaten uten å betale.
– *Bestemor, du må betale! Ellers er du tyv.*
– *Men jeg har betalt. Jeg har kort.*

Moren hans har nok fortsatt denne antikortideen hun fikk som tenåring. Det var så vidt banken fikk overtalt henne til å ha minibankkort. Det er klart Jonas aldri har sett et elektronisk billettkort før.

– *Velkommen til en lun og behagelig reise. Vennligst angi reisemål.*

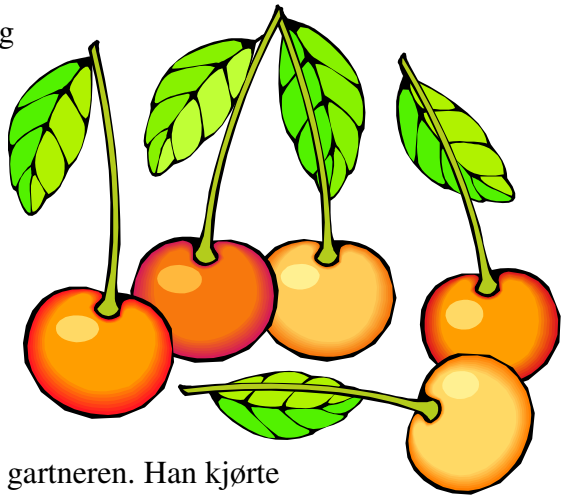
Jonas trekker pusten og peser – *Jisvollan* inn i mikrofonen.

– *Reisen til Risvollan vil ta tre og et halvt minutt. Vennligst fest sikkerhetsbeltene.*

Jonas pøbler og jeg må be ham ta på seg selen. Ennå gjør han seg til. Prøver med grimaser for å få meg til å glemme dette med selen. Vogna står fortsatt stille. Så sier stemmen:

– *Jonas, vær vennlig å ta på deg selen.*

Jonas gjør store øyne. Han setter seg pent på plass og lar meg hjelpe ham med selen og vi er straks på vei. Jeg er imponert og lattermild. Denne programvaren må være oppdatert i det siste. Vel framme i barnehagen blir Jonas opptatt med å fortelle tantene om den nye vennen han har fått i vogna.



Været har snudd og jeg bestemmer meg for å ta en vogn til E6-parken og gå gjennom den til jobb. Det har vært park i stedet for E6 i snart 40 år nå. De plantet fruktrær. Epler, moreller, plommer og kirsebær. Nå kan jeg gå og plukke gratis frukt som er nyvasket av regnet. Jeg finner noen gule kirsebær. De er best. Jeg hilser på gartneren. Han kjørte buss på femmeren da jeg studerte. Det er mange gamle bussjåfører som jobber i E6-parken nå. Jeg lurer på hvordan det er. Det var selvfølgelig et voldsomt ramaskrik med en gang det nye førerløse vognsystemet ble tatt i bruk og bussene satt ut av drift. Mennesker er som andre masser i naturen. De motsetter seg all forandring. Jeg tror de har det bra egentlig. Slipper å jobbe skift, det er ikke så ensidig fysisk og litt mer sosialt der de er sammen om å rake og beskjære og feie.

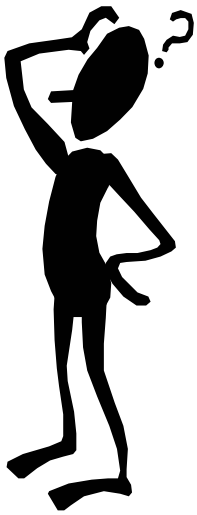
Jeg glemte meg visst bort litt i de gule kirsebærene og plutselig ser jeg at jeg skal være på kontoret om tre minutter. Jeg strener i vei og kaster meg inn døra. Sju minutter for seint til morramøtet. Det tar seg dårlig ut, særlig ettersom jeg tok opp dette med forseintkomming sist. De gliser og klapper meg på skuldra, tydelig fornøyd med å ha noe å erte meg for. De har visst om meg og de gule kirsebærene lenge, og de veit at jeg synes det er litt flaut å glemme tid og sted på den måten.

Det har kommet opp en del møter hvor jeg skal representere i løpet av dagen, et av dem er utenfor byen. Det blir mye hit og dit. Det er godt å ha kontor rett ved hovedstasjonen på dager som dette. Hovedstasjonen ligger i etasjen under. Det er den eneste bemannede stasjonen foruten nattlageret hvor de også tar seg av reingjøring og vedlikehold. Til gjengjeld er den skikkelig bemanna. Fem informasjonsskranker, ti billettautomater, blomsterbutikk og kjappmatsjappe. Teknobyen Trondheim har en avdeling hvor de informerer om magnetfelter, taleteknologi og styringssystemer. Jeg ser stadig vekk at det er skoleklasser på besøk. Av og til stikker en gammel, nærsynt og skjeggete mann innom. Han var en av de første som snakket om magnetiske svevevogner i Trondheim. Alle så på ham som en fabulist og en drømmer. Men etter hvert ble argumentene mer innlysende og teknologien mer kjent og selv politikerne måtte innrømme at to pluss to ble fire og at man måtte ta følgene av det. Nå er han et fargerikt innslag og en av Trondheim bys originaler. Litt småsenil muligens, men han kan fortsatt sin fysikk og irettesetter gjerne de utsendte fra Teknobyen om de skulle feilinformere en skoleklasse eller en gammel nysgjerrig dame.

Dagen går. Jeg får unna møtene. Jeg fikk låne en elbil på en av taxibanens store parkeringsplasser i utkanten av byen for å komme meg helt fram der det ene møtet skulle være. Det var uvant å kjøre bil igjen, men også godt å holde det litt ved like. Nå er det tid for å hente Jonas. Det er hyggelig å ha ham. Han undrer seg fortsatt over verden. I dag ser han ekstra tankefull ut. Den ene barnehagetanta kan fortelle at de har hatt historiestund i dag.
– Bestemor, visste du at for lenge lenge siden, da var det ikke sånne vogner oppe i lufta og da måtte alle kjøre bil overalt og da var det biler overalt og røyk og det bråkte masse!!

Han rynker panna og ser bedrevitende på meg.

– *Ja, det var sånn da jeg var så gammel som du er nå.*



Den var vanskelig. I Jonas hode har jeg alltid hatt rosinhud og vært nesten hundre år. Han plukker opp en annen tråd. Han ser morskt på meg og er klar til å sjokkere.

– *Det var til og med biler i parken med gule kirsebær i!*

– *Ja, det var ikke park der.*

– *Hvor var parken da?*

– *Den var i drømmene våre, Jonas. Man kan alltids drømme.*

2 Dagens trafikksituasjon i Trondheim

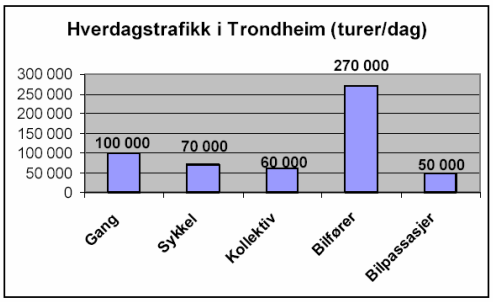
Mye av grunnen til at vi valgte dette prosjektet er fordi trafikksituasjonen i Trondheim er langt fra ideell. Mange er plaget av svevestøv, det er mye tung trafikk gjennom bykjernen og kollektivtransport er tungvint og tidkrevende. Med trafikkveksten vi ser i Trondheim i dag er det helt klart at dette er et økende og høyaktuelt problem. Bilen har altfor høy prioritet i dagens samfunn både når det gjelder plass og penger.

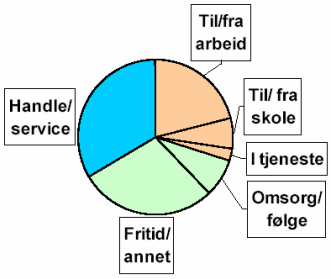
Flere kollektivtiltak er foreslått og forsøkt, men problemene i dagens situasjon krever antagelig at mer drastiske tiltak igangsettes for at vi skal få en bedre by. Kollektivtilbudet er langt fra godt nok til at folk setter fra seg bilen, og undersøkelser viser at det skal mye til for å forandre bilistens reisevaner [4]. Vi ønsker å beholde bilens fleksibilitet og lettvinthet, kombinert med kollektivtrafikkens miljøfordeler på en praktisk, økonomisk og ressursvennlig måte.

Det meste av informasjonen i dette avsnittet er hentet fra miljøhåndboka til transportøkonomisk institutt [2]. Der annet er tilfelle blir det ført vanlige referanser.

2.1 Dagens biltrafikk i Trondheim

Innbyggerne i Trondheim foretar ca 550 000 turer hver dag, halvparten av turene foretas som bilfører. Bare noen få prosent reiser som bilpassasjer, og marginalt flere reiser kollektivt [1].





Det er tre hovedgrupper som hver for seg har like mange reiser:

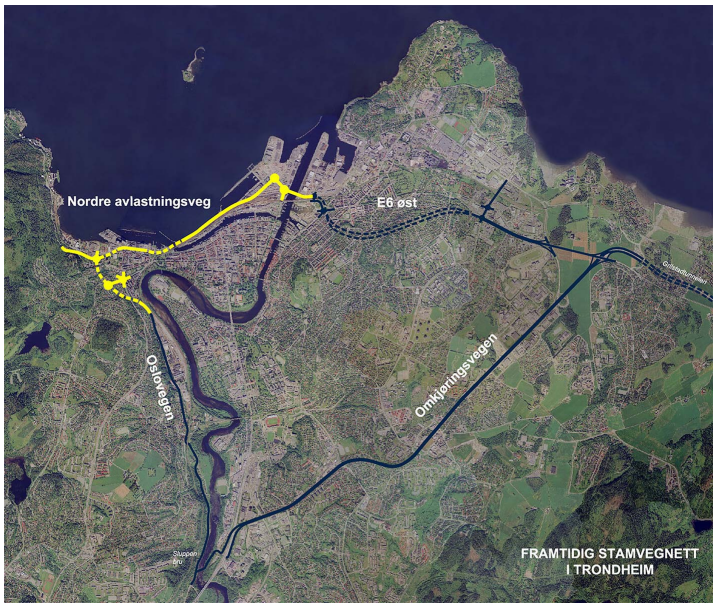
- reiser i, eller til/fra, arbeid og skole
- reiser for å handle eller utføre ærend
- andre fritidsreiser

	Trafikk til/fra Trondheim[1]	
Transportmiddel	Reiser/år	Andel
Bybuss (Team)	15,5 mill.	78,8 %
Annen busstrafikk	2,5 mill.	12,7 %
Gråkallbanen	0,9 mill.	4,6 %
NSB lokaltrafikk	0,6 mill.	3,1 %
Hurtigbåt (Vanvikan)	0,17 mill.	0,9 %
Totalt	19,7 mill.	100 %

Tabell 2-1 Fordelingen av transportmidler og reisehensikt i Trondheim [1]

2.1.1 Kapasitet i dagens veinett

I store deler av døgnet avvikles trafikken uten store køer og forsinkelser. Litt kø i rushtid på deler av veinettet, men uten store forsinkelser. Det er mest kø på innfartsårene til Midtbyen, Sluppenområdet og Tillerbyen. Veinettet er ikke dimensjonert for større trafikkvekst, og avviklingsproblemene øker stadig.



Figur 2-1 Nordre avlastningsvei [10]

Nordre Avlastningssvei er planlagt for å ta unna tungtrafikken som nå går igjennom sentrum, den vil strekke seg fra Ilsvika via Skansen og Brattøra frem til Nidelven. Veien er planlagt ferdig i 2009 [10].

2.1.2 Tilgjengelighet – bil i byen

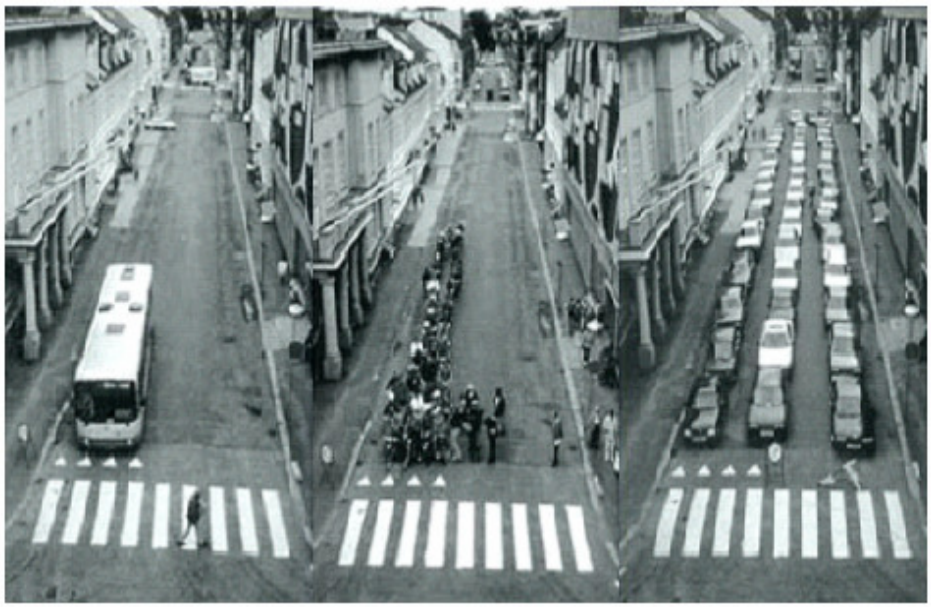
Trondheim har en relativt kompakt form sammenlignet med andre like store og større byer, noe som gir generelt god tilgjengelighet med individuell transport. Reisetiden med bil er vesentlig lavere enn ved kollektiv transport - selv i rushtiden med mange ruteavganger. I Midtbyen og de meste sentrale byområder er gjennomsnittlig reisetid 1,5 - 2 ganger så lang med kollektivtransport som med bil. I mindre sentrale deler er forholdet 2-3 ganger.

2.1.3 Parkering

Begrensningene i biltilgjengeligheten er først og fremst knyttet til parkering. I de mest sentrale delene av byen er parkeringen regulert. Det vanskelig/dyrt å parkere, så her finner vi naturlig nok de største konkurranseflatene mellom bil og mer miljøvennlige transportmidler. Det vil si at det er i sentrale områder at kollektivtransporten kan konkurrere reelt med bilen

2.1.4 Arealbruk

Veitrafikk medfører inngrep i bybildet. Personbilen har høyest arealforbruk pr personkilometer. Buss, T-bane og sporvogn har bare et arealbehov på bare 5-10 % av det bilen trenger per personkilometer. I rushtida tilsvarer en full buss 40 biler med tilhørende behov for parkeringsplasser.



Figur 2-2 40 personer henholdsvis i buss, på sykkel og i personbil [2]

En vei vil i tillegg fungere som en barriere for gående, syklende og eventuelle dyr - både fysisk og psykisk.

2.1.5 Støy

Vanlig veitrafikkstøy ligger på om lag 40- 75 dB og kommer fra flere kilder, blant annet kjøretøyenes drivenhet, dekk og veibane, samt vindsus. Vindsus gjør seg dog først gjeldene ved meget høye hastigheter. Forurensningsloven krever at det igangsettes tiltak der boliger er utsatt for ekvivalente støynivåer over 42 dB, og innendørs skal støynivået ikke overskride 35 dB i følge miljøverndepartementets nye retningslinjer.

I Trondheim er ca 9100 mennesker utsatt for dette støynivået eller mer.
I følge norsk transportøkonomisk institutt, er årlige kostnader i forbindelse med støyforurensning beregnet til om lag 2,5 milliarder kroner. Dette er grunnet sykefravær, redusert arbeidsinntekt, behandlingsutgifter m.m.
I tillegg kan vibrasjoner i bakken skape innsovningsproblemer, søvnforstyrrelser, konsentrasjonsvansker og engstelse for helseskader, eller skader på bolig

2.1.6 Luftforurensning

De lokale forurensningsproblemene i Trondheim er først og fremst knyttet til svevestøv og nitrogendioksid (PM10 og NO_2) [1]. Sentrale deler av Trondheim er svært plaget, spesielt om vinteren. Piggdekkavgifter er innført, og nyere biler har mindre utslipp, likevel vil det fortsatt være personer som er utsatt for forurensningsnivåer høyere enn SFTs anbefalte kriterier.

Lokal luftforurensning kan gi alvorlige helsemessige konsekvenser, og nyere undersøkelser viser at det også påvirker antall hjerteinfarkter i Trondheim [9]. Også de globale effektene bør taes med i helhetsbildet og det er i Trondheim som ellers i verden for store utslipp av klimagasser. Disse utslippene vil antagelig reduseres som følge av en nyere bilpark, men Kyoto-avtalens mål vil ikke nåes uten drastiske reduksjoner av all motorisert transport.

I Trondheim gjøres daglige målinger av luftkvaliteten, og informasjonen blir lagt ut på et eget nettsted. [8]

2.1.7 Energibruk

Energibruken i transport omfatter både direkte og indirekte energibruk. Den indirekte energibruken er energien som går med til produksjon og vedlikehold av transportmidler og deres infrastruktur. Reiser med personbil står for ca 80 % av energibruken til persontransport i Norge.

Transportmiddel	Totalt, TWh	Mellomlange reiser <200km, kWh/personkm	Reiser i by og tettsted kWh/personkm
Personbil (bensin)	26,2	0,56[1]	1,07[2]
Buss	1,9	0,57	0,42
Tog	0,4	0,18	-
T-bane, sporvogn	0,1	-	0,23-0,3
Andel for personbil	80 %	-	

Tabell 2-2 Direkte og indirekte energiforbruk ved ulike transportmidler i TWh (Terrawatt-timer). [2]

Tabellen viser energibruken til ulike eksisterende transportmidler, med hensyn til vanlig passasjerutnyttelse. I tillegg er det en vesentlig forskjell på hvordan energien er skaffet til veie. Forbrenning i en vanlig bensinmotor er både langt mer forurensende og har mindre virkningsgrad (effekt tilført / arbeid utført) enn for eksempel elektrisitet som kan skaffes til veie på langt mer effektive og miljøvennlige måter. Fossile brensler er en ikke-fornybar og begrenset ressurs som vi på sikt bør erstatte med bedre og mer miljøvennlige alternativer.

2.1.8 Trafikksikkerhet

Årlig skades mellom 3- og 400 personer i trafikken i Trondheim [1]. Av disse er det gjennomsnittlig 5 drepte og 20 alvorlig skadde. Vi vet ingenting om hva slags ulykker dette er, men kan anta at tallene ville reduseres hvis biltrafikken reduseres.

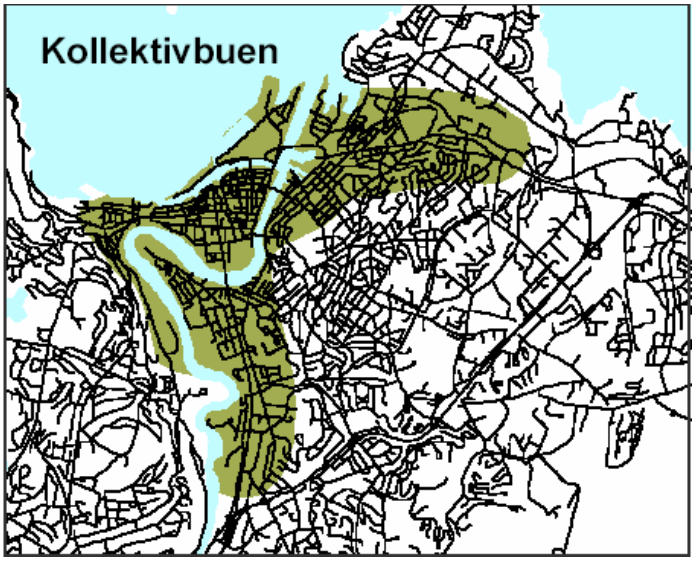
[1] Gitt bensinforbruk på 0,085 l/vognkm

[2] Gitt bensinforbruk på 0,120 l/vognkm

2.2 Alternativer til bil i dag

2.2.1 Tilgjengelighet

Halvparten av regionens (Trondheim og omegn) befolkning kan nå Kollektivbuen i løpet av 30 minutter til fots, på sykkel eller med kollektive transportmidler.



Figur 2-3 Kollektivbuen er det området hvor Trondheims og regionens innbyggere har best tilgjengelighet uten bruk av bil

Tilgjengeligheten for fotgjengere og syklister er relativt god om sommeren, men mer problematisk om vinteren. Problemet skyldes mangelfullt vedlikehold på, eller manglende fortau, gangveger og sykkelfelt. Dette kan også være et problem for syklister om sommeren.

2.2.2 Hovedmål for kollektivtransport

- tilfredsstille grunnleggende reisebehov for hele befolkningen
- bidra til bedre transport og bedre miljø. Mindre bilbruk
- bidra til bærekraftig utvikling ved å redusere energibruken og forurensningen i transportsystemet som vi kjenner det i dag.

2.2.3 Hva er optimalt?

For å kapre bilistene må reisetiden være kort, gangtiden minimal, avgangene hyppige, reisen må være direkte og alt dette til en rimelig pris.

Kollektivtrafikkantene legger større vekt på redusert gangtid, vente-/byttetid enn redusert total reisetid.

By	Reisetid	Gangtid	Ventetid	Byttetid
Sverige (1)	1,0	2,0	1,5	2,0
Kristiansand (2)	1,0	0,05	0,9	-
Trondheim (2)	1,0	2,0	0,9	-
Tromsø (2)	1,0	1,7	0,4	-
Drammen (3)	1,0	3,2	3,1	9,1
Lier, Øvre/ Nedre Eiker (3)	1,0	1,5	1,0	3,4
Oslo (4)	1,0	2,0	3,4	1,25

Tabell 2-3 Kollektivtrafikantenes relative vektlegging av reisetid, gangtid, ventetid og byttetid [1].

Denne tabellen har reisetiden som absoluttreferanse, gangtid, ventetid og byttetid er vektlagt i forhold til reisetiden som helhet. I Trondheim vektlegges redusert gangtid dobbelt så høyt som reisetiden, mens ventetiden er omtrent like viktig. Skjult ventetid vektlegges generelt høyere enn de andre reisekomponentene, det vil si forskjellen mellom avreisetidspunkt for individuelle transportmidler og kollektivtransport med faste avganger.

2.2.4 Fra bil til buss

Kollektivtrafikk rettet mot bilister er i utgangspunktet relativt kostnadskrevende på grunn av høye krav, og det viser seg mest effektivt å kombinere gode tilbud med restriksjoner på biltrafikken - det gir en langt større effekt enn tiltakene hver for seg. Vi kan blant annet se at umiddelbart etter åpningen av bomringen i Trondheim høsten 1991, ble det registrert en nedgang i biltrafikken på 10 %, både i innkrevingsperioder med rushtrafikk og med lav trafikk. Samtidig økte trafikken med litt over 8 % om kveldene og i helgene når det ikke var avgift. Det ble registret en svak økning i kollektivtrafikken, og også i bruk av sykkel og motorsykkel. [2]

I en spørreundersøkelse som ble gjennomført like etter åpningen svarte 12 % av de spurte at de hadde endret sin reiseadferd og da hovedsakelig i forbindelse med handleturer. Undersøkelser viser dessuten at kollektivtiltak som er relativt

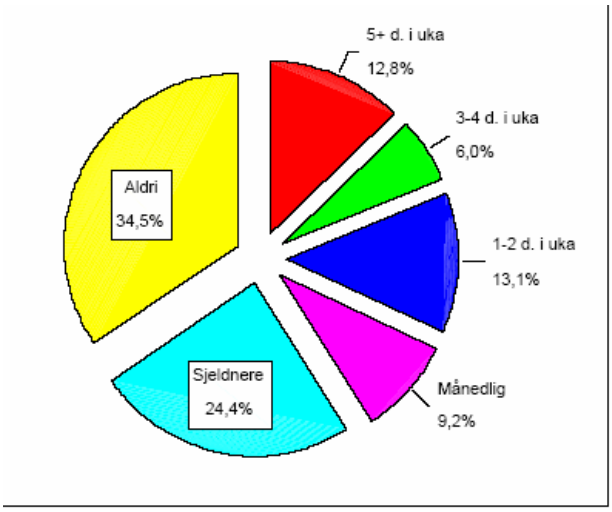
kraftige, ikke på langt nær har like stor effekt som økte bensinpriser. Tidligere undersøkelser i Oslo viser at 10 % forbedring i kollektivtilbudet bare ga ca. 0,4 % nedgang i biltrafikken. Det var litt større effekt i noen andre europeiske byer, men alle holdt seg under 2 %. Tilsynelatende fikk disse nye rutetilbudene passasjerer fra andre kollektive transportmidler, eller fra gående og syklende, men bilistene fortsatte å kjøre bil. På lang sikt kan imidlertid behovet for å skaffe seg bil reduseres ved hjelp av slike tiltak.

Det er billigere å kjøre buss på lengre byreiser, men verdsettes kort reisetid høyest, er det bilen som kommer best ut. En gjennomsnitts dør-til-dør reise i Trondheim tar ca. 30 minutter med kollektivtransport mot rundt 16 minutter med bil [4].

2.2.5 Utfordringer med dagens system

I tradisjonell kollektivtransport er det ikke mulig å ha direktereiser for alle og samtidig opprettholde høy frekvens på samtlige start- og målpunkter til alle mulige tidspunkt for de reisende. Omdisponering av rutetilbudet kan også ende med at noen får et dårligere tilbud, og til en høyere pris.

Med dagens muligheter, er dessuten miljøgevinsten ved å gå over fra bil til buss svært avhengig av hvorvidt busskapasiteten utnyttes. Hvis eksisterende biltrafikk erstattes med eksisterende busstilbud vil hver bil som taes av veien være en ren gevinst. Litt avhengig av hvilke utslippsstoffer vi ser på vil derimot en ekstra tradisjonell dieselbuss kreve at mellom 0,2 og 38,2 biler blir tatt av veien før vi ser en miljøgevinst. Det vil si at å sette flere busser på veien for å øke tilgjengeligheten, ikke vil lønne seg for miljøet før vi har et bedre alternativ enn dieselbuss.



Tabell 2-4 Hvor ofte bruker du kollektive transportmidler? [4]

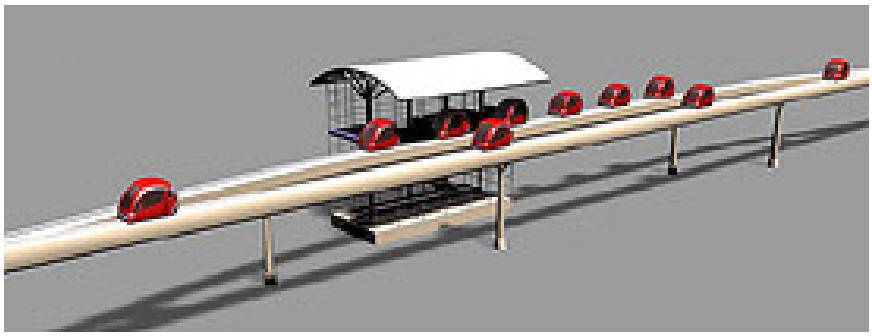
Flertallet av de spurte i reisevaneundersøkelsen i trondheimsregionen reiste aldri, eller sjeldent med kollektivtransport. I følge den samme undersøkelsen er 35,2 % av kollektivtrafikantene fornøyde med dagens tilbud, mens 4,7 % er misfornøyd. Resten er middels fornøyd. Forbedringspotesialet ligger i hovedsak i informasjon om holdeplassene, billettprisene og avgangshyppigheten. Dette gjelder spesielt om kvelden og i helgene. Når det gjelder de som aldri, eller sjeldent reiser kollektivt har vi lite tallmateriale som sier hvorfor de velger andre transportmidler, men det er naturlig å anta at fleksibilitet og tidsbesparelse er de viktigste argumentene. Folk vil dra fra dør til dør, når det passer dem og på kortest mulig tid.

Som en liten oppsummering kan vi slå fast at persontransport i Trondheim, hovedsakelig i bil og buss, er den viktigste bidragsyteren til den lokale forurensningen i tilegg til at unødig mye tid brukes på å reise. Den største miljøsynderen er privatbilismen, så hovedmålet bør være å lage et system som også tilfredsstiller de som i dag kjører bil. De tradisjonelle dieselbussene er også en stor forurensningskilde, så selvfølgelig må vårt system også søke å erstatte denne trafikken. Det som kreves av et bra system er dermed miljøvennlighet, fleksibilitet og effektivitet, samtidig med at prisen må være fornuftig og systemet brukervennlig og sikkert. Det må tilfredsstille både miljøet og den reisende på en økonomisk forsvarlig måte.

3 Taxibane

3.1 Introduksjon

Taxibane (PRT – Personal Rapid Transit) er et system av små, automatiserte kjøretøy som beveger seg på et eget banesystem lokalisert over bakkenivå. Vognene kan brukes av enkeltpersoner eller små grupper, typisk 1 til 6 passasjerer, som reiser sammen hvis de ønsker det. Systemet fungerer 24 timer i døgnet. Kjøretøyene har mulighet til å benytte alle baner og stasjoner i det fullstendig koblede banenettverket. Istedenfor fastsatte rutetider, er kjøretøyene tilgjengelig på etterspørsel. Stasjonene er plassert på sidespor slik at vognene på hovedsporet kan suse forbi uten å stoppe. Dermed kan det tilbys direkte transport til ønsket endestasjon uten unødvendige stopp på veien. Taxibane ønsker å forene fordelene fra personbil og kollektivtransport.



Figur 3-1 Stasjon og hovedspor [11]

3.2 Historie

De første ideene rundt taxibane tok form i USA i 50 årene. Man fant ut at ved å bruke mange små, automatisk kontrollerte kjøretøy istedenfor et stort tog, kunne man redusere kostnadene og størrelsen på banesystemet betraktelig. Etter Apollos måneferd i 1969 var det stor optimisme tilknyttet utvikling av ny teknologi i USA og også andre deler av verden. Det har blitt bygget og testet en rekke taxibaner de siste 35 årene i USA, Japan, Tyskland, Frankrike og England. Banen i Morgantown i USA har siden 1974 vært i daglig drift. En stor begrensing ved de tidligste systemene var at sporskiftet krevde bevegelse av hele banen. Utviklingen av vognbasert pensing gjorde det mulig å korte ned sikkerhetsavstanden mellom vognene. Tidligere måtte man ha enorme vognsett

for å få samme kapasitet som svært små taxivogner får ved å kjøre sine vogner tett i tett. Høy kapasitet er helt essensielt for et effektivt og dermed lønnsomt og brukervennlig nettverk. Teknologien har utviklet seg og man har kombinert magnetisk sveving og elektrisk fremdrift ved bruk av lineære induksjonsmotorer (LIM). For å holde kostnadene og vekten til kjøretøyene på et minimum fant man ut at det var best å ha motoren i sporet istedenfor i vognene. Alle de aktive fremdrifts- og kontrollkomponenter ble også plassert i sporet. Det ble demonstrert at et veldig lett banesystem kunne bygges og likevel bære kjøretøyene.

Da teknologien ble perfeksjonert nok til å skulle installeres hadde moten innen økonomisk politikk endret seg og det offentlige holdt seg fra ca.1980 borte fra store investeringer, og spesielt i ukjent terreng. Subsidiering avtok på tross av argument om at dette var investering i framtiden. De automatiserte anlegg som ble bygget mellom 1980 og 1995 har derfor stort sett vært bygget av private entreprenører eller andre som hadde full råderett over sitt område (flyplasser, sykehus, kjøpesentre o.l.). Det har ikke blitt bygget større installasjoner på offentlig grunn. På slutten av 90 tallet har det vært et klimaskifte og interessen har tatt seg opp igjen. Flere byer(bl.a. Paris og København) har bygget automatiserte T-baner. Nye testbaner for taxibane har vært og er under bygging i USA, Storbritannia og Korea. Mer enn to dusin byer i USA og Sverige har hatt offentlige utredninger av taxibane siden 1990.[12]

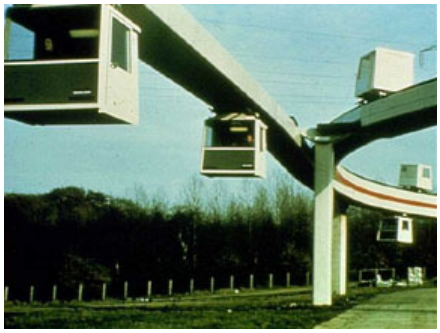
3.3 Prosjekter rundt om i verden

Siden det finnes så mange forskjellig taxibaneprosjekter rundt om i verden, er det vanskelig å få den hele og fulle oversikten. Her er noen av de mest aktuelle fra ideen om taxibane startet til idag presentert.

3.3.1 CVS

CVS ble påbegynt i Japan i 1968 og var en teknisk suksess ved Osaka World Fair i 1970. Systemet kjørte med sikkerhetsavstand tilsvarende 1 sekund mellom vognene. De bygde senere et 4,8 km anlegg ved Tokyo med 80 vogner, dessuten en 1:20 modell med simulering av 1000 vogner. Departementet for transport så dette som en fiendtlig intervensjon på deres enemerker og prosjektet ble avsluttet i 1976. [13]

3.3.2 Cabinentaxi



Dette systemet ble bygget i Hagen i Tyskland og var en teknisk suksess med 2 km bane og 5 vogner. DEMAG Fordertecknik og Messerschmitt samarbeidet om prosjektet som ble påbegynt i 1970 og avsluttet i 1973. Systemet var unikt ved at vognene kjørte både over og under banen. Dette for å oppnå toveis transport på samme bane slik at man reduserte utbyggingsbehovet. Kjørte i 1975 med analog teknologi og sikkerhetsavstand mellom vognene tilsvarende 0,5 sekunder. Dette ble prosjektert blant annet for Hamburg, men avsluttet i 1979 av økonomiske grunner. [13]

3.3.3 Aramis

Dette var et fransk prosjekt, der kjøretøyene hadde plass til 4 personer. De kjørte på gummidekk og ble drevet frem av en variabel reluktansmotor. En testbane på 1 km ble bygget av Engins-MATRA, og stod ferdig i 1974. De

kjørte da med en sikkerhetsavstand mellom vognene tilsvarende 0,2 sekunder. Prosjektet var unikt pga at kjøretøyene ble kontrollert til å ha en avstand på 30 cm ved bruk av ultrasoniske og optiske sensorer. Det ble benyttet en bryter i kjøretøyet for å svinge inn på stasjonene. På grunn av gammeldags transportlovgivning ble prosjektet avsluttet og mer konvensjonell teknologi overtok. [13]

3.3.4 Morgantown

I Vest-Virginia i USA bygget Boeing en 14 km lang demonstrasjonsbane med 71 vogner og 5 stasjoner. Byggingen startet i 1971. Vognene er elektrisk drevne og kobler sammen universitetets tre områder. Systemet kjører faste ruter i rushtiden, ellers opererer det på etterspørsel. Taxibanen i Morgantown er det første av 5 automatiserte urbane persontransportsystem som har blitt bygget i USA siden 70tallet (De andre er i Detroit i Michigan, Irving i Texas, Jacksonville i Florida og Miami i Florida). Åpnet for publikum i 1975. Frakter 2 millioner passasjerer per år. Bruker større vogner enn taxibanekonseptet, men ellers likt (16 mot 3-6). Oppdatert software i 1998 for $ 8,2 mill. [13]

3.3.5 PRT2000

Dette var et amerikansk prosjekt som var et samarbeid mellom Raytheon Inc. og Taxi2000. Vognene var tunge og dyre (3 vogner, 1 stasjon og 2,7 km). Startet 1990 og avsluttet i 1998 pga. generelle finansielle problemer i Raytheon. Testbanen var en teknisk suksess. [13]

3.3.6 ULTra

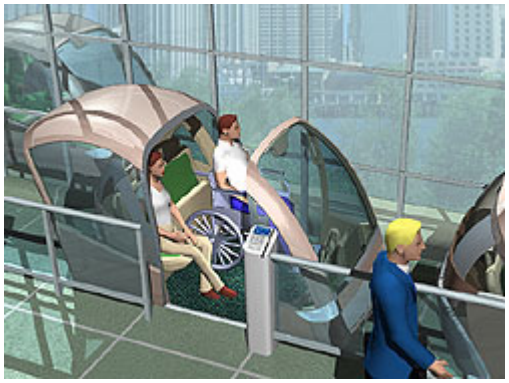
Konseptet er utviklet ved universitetet i Bristol i England siden 1995. Siden videreført av Advanced Transport System Ltd i samarbeid med Arup og AMEC. Systemet bruker elektrisk drevne kjøretøy

på hjul. Vognene skal maksimalt ta 4 personer og ha en toppfart på 40 km/t. De fullførte en testbane i Cardiff i januar 2002. Deres første prosjekt ventes ferdigstilt i 2006.

Deres beregninger

Banesystemet har samme kapasitet som en motorvei, men koster 1/10 så mye og bruker kun ¼ av landområdet. Gjennomsnittsfart for motoriserte kjøretøy i dag i bykjerner er typisk 13 km/t. ULTra kjører i 40 km/t. Mer enn 80% av ULTra sine passasjerer venter aldri på ledige vogner, 95% venter mindre enn 1 minutt. ULTra bruker 25% av energien per passasjer og km sammenlignet med bil, mindre enn 50% sammenlignet med buss og mindre enn 80% sammenlignet med trikk eller t-bane. ULTra prøver å minimere visuell forurensning ved å legge banesystemet på bakkenivå der det er mulig (langs veier eller jernbane). Systemet og vognene er designet slik at det kan benyttes av rullestolbrukere, dessuten kan man ta med seg sykkel eller bagasje. [14]

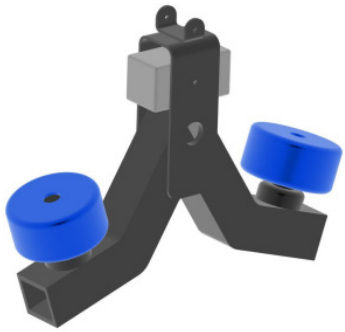
3.3.7 SkyWeb Express



Taxi 2000 har utviklet SkyWeb Express teknologien siden 1960-tallet. De er stasjonert i Minnesota i USA. Først samarbeidet de med Cabinentaxi i Tyskland fra tidlig i 1970 årene, med Stone & Webster Engineering på 1980-tallet og bygget en testbane med Raytheon Company i 1990-årene. I januar 2000 valgte Taxi2000 å videreutvikle teknologien på egen hånd. Taxi2000 er nok det mest erfaringsrike selskapet i bransjen. Kjøretøyene deres bruker lineærmotor med få bevegelige deler og krever dermed lite vedlikehold.

Figur 3-1 Trekkvognen i SkyWeb Express

Systemet har en trekkvogn (Figur 3-1) som løper beskyttet inne i en hul bjelke med personkabinene ovenpå bjelken. Dette muliggjør vognbasert sporveksling. Dette skjer ved at man har en V-formet arm som svinger fra side til side avhengig av hvilken retning den skal skifte til. (Figur 3-2) På hver side finnes et spor med en kant i penseområdet som armen griper fast i med ett hjul. Dermed ”dras” vognen til høyre eller venstre. Dette er enkelt og svært pålitelig. Taxi 2000 har samlet inn ressursene og har startet sitt to fase bedriftsutvikling og fullskala teknologi demonstrasjon og sertifiseringsprogram. Flere statlige og private enheter rundt i verden har uttrykket interesse for systemet (bl.a. i USA, Sverige og Korea).



Figur 3-2 Arm for sporskifte tenkt av SkyWeb Express

Deres beregninger

Linjekapasitet: 6000 vogner per spor per time.

Stasjonskapasitet: opp til 1500 vogner per time, spor og stasjon.

Hastighet: Gjennomsnitt 40-50 km/t. Maks 130 km/t.

Maksimal akselerasjon og retardasjon: 0,25g og 1,23g/s

Energibehov: 145 watt per time og vogn ved 40 km/t, 0,125 kWh per personkm

Stigning: maks 15 grader.

Minste kurveradius: 10,8 meter

Tåler vind opp til 20 m/s(stiv kuling) og har redusert ytelse ved 35 m/s(orkan).
Har et lukket spor som beskytter trekkvogn og pens mot snø og is.
Sporene vil gå 5 meter over bakken.
Plass per vogn: 3 voksne, evt 2 voksne og 2 små barn, 1 voksen med sykkel eller rullestol med følge.
Venting på stasjon: Utenom rushtid: ingen venting, i rushtiden: 80% mindre enn 30 sekunder, 99% mindre enn 2 minutter. I snitt 45 sekunder. [1]

3.3.8 Taxi21

Norsk Sportaxi startet et prosjekt i 1997, som prøvde å utvikle egen norsk teknologi. De utviklet et forslag for Fornebu som omfattet 23 km bane, 42 stasjoner og 450 vogner til en materialkostnad av ca 150 millioner kroner. Prosjektet ble avsluttet i 2000. Det norske selskapet InnoTrans har inngått et partnerskap med det amerikanske selskapet Taxi2000(og deres løsning SkyWeb Express) og overtatt prosjektet. De ønsker å lage en første testbane med 10 stasjoner, banelengde på 9,4 km enkelspor og en vognpark på 462 kjøretøy. De ser for seg en vognavstand i rushtiden tilsvarende 1,8 sekunder ved 36 km/t (minimum 0,5 sekunder og maks 130 km/t). [12]

3.3.9 SkyTran

Amerikansk prosjekt med en ide om å introdusere et enkelt, miljøvennlig og fleksibelt persontransportsystem. Vognene svever på og drives fram ved hjelp av magnetfelter. SkyTran har valgt EDS som prinsipp for magnetisk sveving, og har Inductrack som samarbeidspartner. Dette systemet er naturlig stabilt og bygger på magnetisk frastøting. Da dette trenger litt fart for å kunne sveve, vil vognene ha små gummihjul å lande på under oppstart og nedbremsing. De benytter også magnetpensing til å skifte spor. Små og lette vogner vil frakte personer direkte fra den holdeplassen man befinner seg på til ønsket holdeplass. Vogner skal alltid være tilgjengelig på enhver holdeplass slik at man slipper å tenke på rutetider.

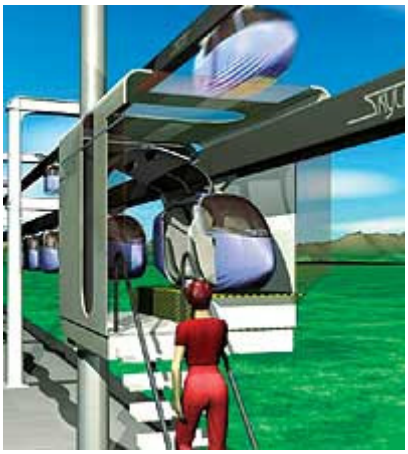
SkyTran har utviklet eget software og kontrollsystem for å finne ut når det er

åpninger på hovedbanen slik at vogner som venter på stasjonen kan flettes inn mest mulig effektivt. Benytter radar for å unngå kollisjoner, identifisere hvert kjøretøy med nøyaktig og relativ informasjon om posisjon som gis til andre kjøretøy i nærheten. [17]

Vognene henger ned under banesystemet, istedenfor å bevege seg oppå, slik at de får de et lavere massesentrum og dermed bedre stabilitet. Tanken er også at vognene skal være små, det vil si plass til en til to personer. Vognene blir da såpass lette at man kan spare inn en del utgifter på bygging av skinneganger, samtidig som det ikke trenger å være like ruvende i landskapet. Det er ingen fysisk kontakt mellom vogn og skinnegang under fart. Dette gjør det til en miljøvennlig og energieffektiv teknologi som krever lite vedlikehold.

Deres beregninger

Maks kapasitet: 14 400 passasjerer i timen
Hastighet: 160 km/t i byer
Akselerasjon: maks 0,5 g
Energiforbruket vil være på 1,1 kWh/personmil.
Vognen har plass til 2 personer, eller en person med bagasje.
Stoppene vil være plassert med 200 til 400 meters mellomrom, så det vil aldri være langt å gå til nærmeste stasjon.
Sporene vil være plassert 9 meter over bakken.
Tåler vindstyrke opp til 67 m/s. [16]



Figur 3-3 Stasjon i SkyTran-systemet

3.4 Felles fordeler med alle systemene

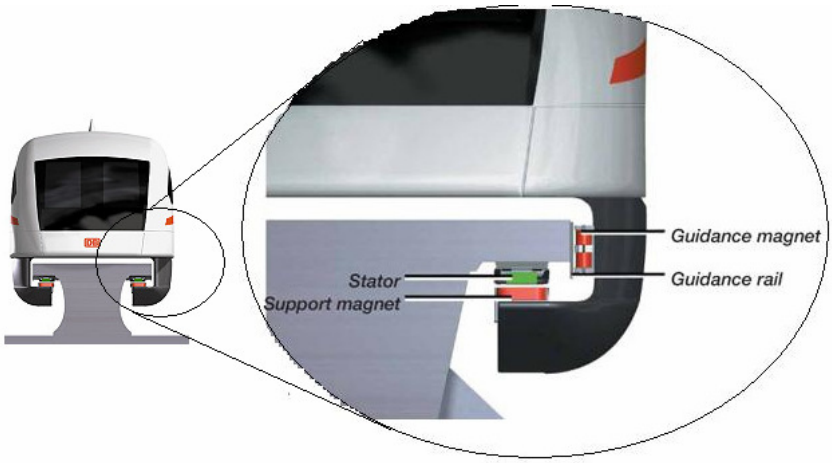
Alle systemene ønsker å redusere biltrafikken og dermed redusere forurensning fra eksos, støy og køer i rushtrafikken. Veier slik de er i dag fungerer som barrierer for ferdsel. Taxibaner okkuperer mindre areal enn dagens veier, frigir areal til annet bruk for gående og syklende. Reisetiden vil bli redusert ved at det tilbys direkte transport fra start til endestasjon uten unødige stopp på veien. De reisende slipper venting og overganger. Reisetiden er dermed enklere å forutsi. Minimalt med start- og stoppsekvenser vil redusere energiforbruket sammenlignet med bil og buss. Kjøretøyene er elektrisk drevne og muliggjør dermed regenerativ bremsing. Det vil være tett mellom stasjonene slik at man slipper å gå langt. Systemet er enkelt å montere og demontere og er svært billig i bygging og drift. Utvidelse vil kunne foretas uten avbrytelser i tjenesten. Taxibaneteknologien vil øke effektiviteten i bytrafikken og samtidig gi bedre helse, tidsbruk og sosialt miljø og naturmiljø. Vognene forflytter seg kun i en retning langs sporene og det er dermed ingen risiko for front mot front kollisjon. Det er heller ingen kryssende trafikk. Innføring av taxibane vil dermed både direkte og indirekte være med på å reduserer ulykkestallene i trafikken.

4 Magnetisk sveving

I dette kapittel gjøres rede for ulike teknologier som er utviklet og testet og delvis i drift under betegnelsen magnetisk svevetog, eller Maglev. Magnetisk svevetog er tog der selve kjøretøyet ikke er i fysisk kontakt med underlaget. Sveving, framdrift, bremsing og styring foregår ved hjelp av magnetfelter. Man unngår dermed friksjon på aksling, mellom hjul og underlag og følgelig også energitap, akustisk støy og begrensninger i hastighet som dette ville medført. Slitasje i forbindelse med roterende deler vil man heller ikke ha i et magnetisk svevetog.

4.1 To prinsipper

Det er to ulike prinsipper som benyttes i svevetogteknologiene. EMS – ElektroMagnetisk sveveSystem basert på magnetisk tiltrekning og EDS – ElektroDynamisk sveveSystem basert på magnetisk frastøting.

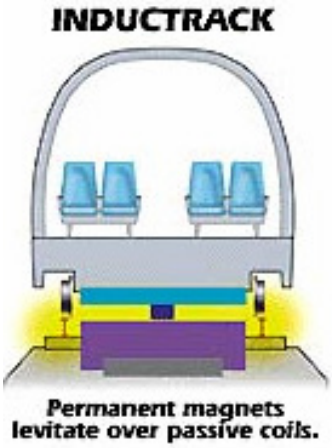


Figur 4-1 EMS - Elektromagnetisk sveveSystem [18]

Figur 1 viser hvordan magnetisk tiltrekning kan få farkosten til å sveve ved at deler av vognen er krøllet rundt skinnegangen og henger under. De magnetiske kreftene virker mellom ”stator” og ”support magnet” i figuren. Disse vil ha ulik magnetisk polaritet (nord- og sørpol) og virker dermed tiltrekkende på hverandre. Systemet kan betraktes som en lineær motor der skinnegangen utgjør stator, mens selve kjøretøyet utgjør rotoren. Vognene løftes ved at det påtrykkes strøm på

elektromagnetene i rotor og stator og det dannes magnetiske nord- og sørpoler som tiltrekker hverandre. Dette danner løftekraften.

Figur 4-2 viser et annet system basert på magnetisk frastøting. Man benytter her Lenz lov. Lenz lov beskriver at all induksjon vil skje på en slik måte at det motvirker forandringen som forårsaket induksjonen. Ved å la magnetfelt bevege seg over elektrisk ledende materiale vil det induseres strømmer i dette materialet og det settes opp et magnetisk felt med motsatt retning av det opprinnelige feltet. På den måten vil et kjøretøy i fart kunne flyte på induserte motpoler.



Figur 4-2 EDS - ElektroDynamisk sveveSystem.

4.2 Transrapid

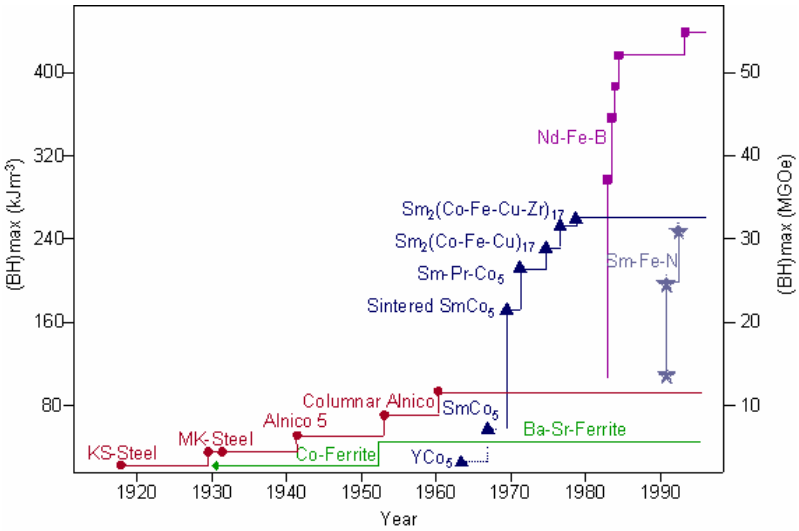
I 1934 tok tyskeren Hermann Kemper patent på magnetiske svevetog. De 44 neste årene brukte tyskerne på å teste ut ulike modeller og teknologier. De begynte med en kortstator asynkron lineær motor, de prøvde seg med superledende spoler og etter hvert langstator synkron lineær motor. I 1978 bestemte de seg for å jobbe videre med sistnevnte teknologi under navnet Transrapid. På dette tidspunktet hadde man oppnådd en hastighet på 75 km/t. 15 år senere, i 1993, kjørte man i 450 km/t, og intensiteten i det øvrige arbeidet med forskning og utvikling bar preg av en tilsvarende økning. En rekke forbindelser ble planlagt mellom ulike byer i Tyskland. Disse er per i dag ennå ikke blitt noe av. Gjennombruddet må sies å være at Shanghai by skrev kontrakt med Transrapid International i 2001. I 2003 startet verdens første kommersielle magnetiske svevetog i ordinær drift mellom Shanghais Long Yang Road til Pudong International Airport. [18] For ordens skyld: dette er basert på magnetisk tiltrekning, EMS. Ettersom magnetiske krefter er omvendt proporsjonal med, avstand vil denne teknologien kreve avansert regulering for å holde luftgapet konstant. I tilfelle strømbrudd vil kjøretøyet klaske rett ned på sporet.

4.3 Superledende spoler og EDS

I 1965 bevilget myndighetene i USA en masse penger til forskning på magnetiske svevetog. Amerikanerne ble gode på bruk av superledende spoler for EDS. James Powell og Gordon Danby presenterte i 1966 et konsept der man har superledende spoler om bord på kjøretøyet og hvor skinnegangen består av enkle spoler. [19] I 1975 kuttet amerikanske myndigheter støtten til forskning og i ettertiden er det japanerne som har blitt ledende innen forskning og eksperimentering innen magnetiske svevetogsystemer basert på EDS. Gjeldende fartsrekord for svevetog er gjort i Japan i desember 2003 og er på 581 km/t.[20]

4.4 Permanentmagneter og EDS

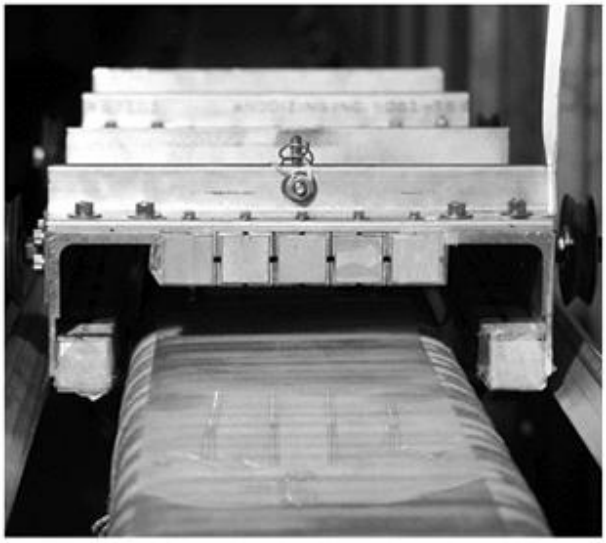
Maksimal ytelse fra permanentmagneter har utviklet seg eksponentielt som vist i figur 3. I det siste er det spesielt Neodymborjernmagneter som har gjort permanentmagneter interessant i forbindelse med magnetisk sveveteknologi.



Figur 4-3 Historisk utvikling i maksimal magnetisk flukstetthet. [22]

Inductrack er et konsept som benytter permanentmagneter i stedet for superledende spoler for å danne magnetfelt. Ved Lawrence Livermore National Laboratory testes teknologien på en 20m lang modellbane. Se figur 4. På undersiden av ”kjelken” er permanentmagneter ordnet i en såkalt Halbachrekke. I en Halbachrekke er magnetene ordnet slik at magnetfeltet blir kraftigst under kjelken, mens det så å si kanselleres på oversiden. Kjelken gis fart ved hjelp av en

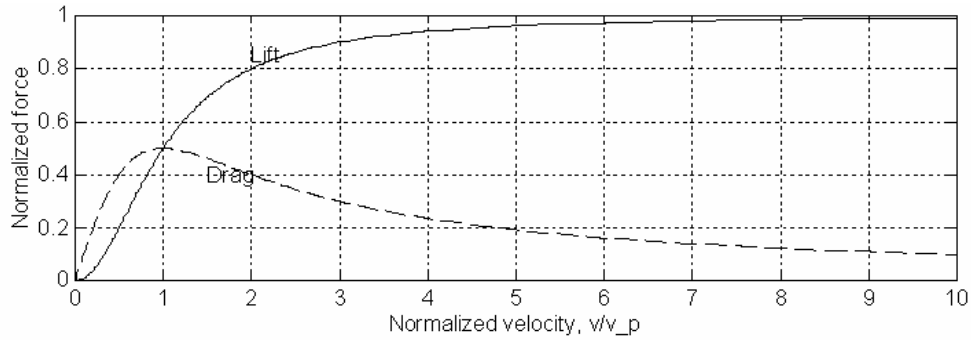
kjempestrikk. Forskerne som jobber med konseptet har for øvrig ikke tatt stilling til hva slags teknologi som bør benyttes for framdrift. [21] Det er åpent for elektriske lineære motorer, jetmotor, propelldrift eller strikkmotor. Det er for øvrig vanlig med lineær induksjons- eller synkronmotor. Induksjonsmotor er billigst ettersom denne ikke har noen feltvikling. Imidlertid vil induksjonsmotorer forbruke reaktiv effekt og man vil trolig møte krav fra de lokale netteierne om å fasekompensere eller å betale for den reaktive effekten man forbruker.



Figur 4-4 Testing av magnetisk sveving ved hjelp av permanentmagneter. [21]

4.5 EDS, sikkerhet og fart

Teknologier basert på magnetisk frastøtning er avhenging av fart for å sveve. Men også kun dette. Det vil si at ved eventuelt strømbrudd vil kjøretøyet holde seg svevende til det har nådd en så lav hastighet at endringen i magnetfeltet ikke gir tilstrekkelig løftekraft. Videre vil en slik teknologi være selvregulerende og naturlig stabil ettersom kraften blir sterkere når luftgapet minker og da vil kjøretøyet løftes og luftgapet blir igjen større.



Figur 4-5 Løftekraft og motstand som følge av induserte strømmer (drag force) [23]

Som vist i Figur 4-5, avtar motstanden og dermed også tapene ved høye hastigheter. Dette er en av grunnene til at magnetisk sveveteknologi er energieffektiv og spesielt godt egnet ved høye hastigheter.

5 Vår versjon

5.1 Introduksjon

Da vi begynte med dette prosjektet, hadde vi en tanke om at et taxibanesystem burde kunne erstatte all personbiltrafikken innenfor bomringen i Trondheim. Som vi så i ”Trafikk”-kapitlet, er det mange faktorer som skal oppfylles av et kollektivt trafikksystem, for at folk skal bli villige til å bruke det framfor å bruke personbiler. Disse punktene blir også viktige for et taxibanesystem. Et par hovedpunkter er:

- Det bør være kort vei til stasjonene uansett hvor man er, helst bør nærmeste stasjon ikke være lenger unna enn en halv kilometer. Altså omtrent en stasjon per kvadratkilometer.
- Vognene skal komme fram vesentlig raskere enn vanlig kollektivtrafikk, og helst like raskt eller raskere enn med biltrafikk.
- Man skal slippe å vente på vogner eller stå i lange køer for å komme seg på.
- Billettprisen bør ikke være høyere enn dagens kollektivtrafikk, og helst billigere.
- Systemet skal være lett forståelig og enkelt å bruke

I tillegg er det noen andre punkter som man må tenke på:

- Det bør tas hensyn til handikappede i utformingen av vogner og stasjoner.
- Selv om billettprisen er lav, må systemet naturligvis ha overskudd. For at dette skal kunne oppnås, gjelder disse underpunktene:
    - Siden det skal være mange stasjoner, bør de ikke ha altfor mye utstyr som krever vedlikehold. Utstyret vil være utsatt for slitasje og hærverk. Samme gjelder også vognene.
    - Sporene bør være billige å sette opp og vedlikeholde.

I dette kapittelet vil vi beskrive de viktigste komponentene for et taxibanesystem slik vi har forestilt oss at det kan implementeres her i Trondheim. Vi vil beskrive

hvordan komponentene skal fungere, og hvordan de oppfyller kravene som er nevnt her. Mange av ideene er hentet fra SkyTran og SkyWeb Express, men vi har også sett på andre prosjekter og tenkt litt selv på mulige løsninger på forskjellige problemer.

5.2 Struktur

I denne delen beskriver vi hvordan vi tenker oss at de forskjellige komponentene i systemet skal bygges. Vi beskriver først hvordan vi mener at sporene, stasjonene og vognene skal være, og deretter litt om tilgjengelighet for blant annet bevegelseshemmede, og til slutt om hvordan vi mener at rutenettet bør se ut.

5.2.1 Sporene

I de fleste taxibaneprosjektene blir sporene tenkt plassert forholdsvis høyt oppe (Figur 5-1). I SkyTran foreslås det at sporene skal være 9 meter oppe i luften, og vognene skal henge under sporene. SkyWeb Express foreslår 5 meter, men de har vognene plassert over sporene. Fordelene med å ha vognene over sporet er at folk flest ville føle det tryggere, og som man ser fra tallene gir det også mulighet for å ha sporene plassert lavere, slik at de muligens blir noe mindre prangende. Fordelen ved å ha vognene under sporet, er at det er mindre sjanse for at noe blokkerer sporet, sporene kan være smalere, og vognene vil automatisk krenge i svingene, slik at man blir svakt presset nedover i setet, i stedet for til siden. Det er også flere fordeler og ulemper for hver av disse, derfor vil vi ikke ta stilling til hva som er best, og lar begge mulighetene være åpne.

Figur 5-1 Stasjonene slik de er tenkt i SkyTran

Uansett er fordelene med høyt plasserte spor at taxibanen da ikke blir påvirket av vanlig trafikk, og vognene kan kjøre med konstant fart på hovedsporet. Å ha sporene hevet minsker sjansene for kollisjoner med mennesker og dyr. Fordelen går også motsatt vei: Taxibanen vil heller ikke blokkere for vanlig trafikk. Dette er faktisk ganske viktig, siden det er meningen at vognene som ikke er i bruk skal være parkert på stasjonene. Hvis taxibanen var på bakkenivå sammen med annen trafikk, ville disse ventende vognene ha blokkert ganske mye av plassen. Effektivt arealbruk er et hovedpoeng med å ha sporene hevet over bakkenivå.

I tillegg mener enkelte som jobber med taxibaneprosjekter at spor som er plassert høyt oppe vil være noe mindre synlige enn hvis de var plassert lavt. Til gjengjeld mener skeptikerne naturligvis det motsatte, at det vil være altfor synlig og blokkere for mye av utsikten. Likevel tror vi nok at dette mest er en vanesak. Om man først begynner å bygge spor i byen, vil nok folk flest bli vant til å leve med dem, selv om det er mulig at enkelte vil protestere. For å gjøre det mest mulig akseptabelt bør iallfall sporene være så små som mulig, og sporene kan også tilpasses omgivelsene, som ved å gi dem farger som harmonerer med bakgrunnen.

5.2.2 Stasjonene

Enkelte prosjekter forestiller seg romslige stasjoner plassert i stasjonsbygninger, hvor folk kan kjøpe billetter og studere kart og andre opplysninger. Stasjonene som blir foreslått i SkyTran-prosjektet er derimot tenkt å være minimalistiske (Figur 5-1), helst bare med to sett med plattformområder og trapper: et for avstigning og et for påstigning. Avstignings- og påstigningsplattform skal altså være atskilt. Grunnene til denne minimalistiske tenkningen er som nevnt i introduksjonen at man ser for seg så mange stasjoner som mulig. Da bør hver stasjon koste så lite som mulig å bygge og vedlikeholde. Dessuten vil stasjonene på denne måten ikke være like visuelt forstyrrende som større og klumpete stasjoner, og det vil være lettere for folk å akseptere mange stasjoner i deres nabolag.

Det mest naturlige er likevel å ha en eller flere større, betjente stasjoner blant annet i sentrumsområder, hvor folk kan kjøpe billetter og få informasjon. Hvis nødvendig kan det også være større stasjoner på steder utenom sentrum hvor det stor pågang. Det kunne for eksempel være steder nær togstasjoner, eller i nærheten av studentbyer og skoler. Man kunne også la vognene kjøre rett inn i større kjøpesentre og hoteller. På alle disse større stasjonene vil påstigningsplattformene være større, og det er da mulig å la folk gå på flere av vognene samtidig. Dette ville gi kortere køer og mindre venting for brukerne.

Figur 5-2 En større stasjon, slik de er tenkt hos Skyweb Express

Det skal også være en eller flere kontrollstasjoner, som ikke er til bruk for vanlige passasjerer, men hvor vognene kan sendes for vedlikehold, renhold og reparasjoner. Her kan det lagres ekstra vogner som tas i bruk når andre vogner må settes ut av bruk. Her kan det også eventuelt være spesielle vogner som kan sendes ut når det er behov for det, for eksempel vogner som gjør vedlikehold på stasjonene.

Som vi skrev i introduksjonen, bør det være ganske mange stasjoner for at brukerne aldri skal være langt unna en stasjon. Dessuten vil mange stasjoner gi færre brukere på hver stasjon, slik at eventuelle køer på blir kortere. Men samtidig vil flere stasjoner gi økte kostnader. Hvor mange stasjoner man skal ha, og

hvordan disse skal spres utover, krever atskillig mer planlegging. Vi kommer til å skrive litt mer om dette i underkapitlet om rutenett.

5.2.3 Vognene

Det er flere aspekter man må tenke på når det gjelder utformingen av vognene. Vognene må være lette, men samtidig solide siden sikkerheten selvfølgelig stiller i en særklasse. God design må heller ikke glemmes. Vognene og deres infrastruktur vil antagelig prege bybildet i stor grad, og mye av motstanden hos folk vil nok ligge på det estetiske inngrepet. I tillegg må vognene være aerodynamisk optimale for å minimere vindsus og motstand. Dette er viktig for både bekvemmelighet og energisparing.

I reisevaneundersøkelsen fra SINTEF [4], står det at halvparten av reisene i Trondheim ble foretatt som bilfører, mens bare 2 % ble foretatt som passasjer. Dette tyder på at mange det er mange biler som kjører med bare en person, altså sjåføren. Dette stemmer ganske bra med det som de fleste andre taxibaneprosjekter har kommet fram til, nemlig at det stort sett ikke er nødvendig å være plass til mer enn en person i hver vogn. Likevel velger de fleste prosjektene å øke kapasiteten til to eller flere plasser i hver vogn, fordi de mener at det ikke er veldig stor forskjell i pris for denne økningen.

Figur 5-3 SkyTran's forslag til taxibanevogn

Et lavt antall seter i hver vogn gjør at vognene blir lettere, og sporene som brukes trenger dermed ikke å være like kraftige som ved bruk av tradisjonelle, tyngre vogner med plass til mange personer. Det blir også færre tomme seter som kjører rundt i byen, sammenlignet med busser og trikker som kjører faste ruter uansett om det er mange som tar bussene eller ikke.

Vognene burde ha klimaanlegg, slik at det verken blir for varmt om sommeren eller for kaldt om vinteren. I tillegg burde inventaret helst ikke være tekstilbasert, eller ha så få tekstiler som mulig. Dette gjør det lettere å rengjøre, og det vil gi mindre problem for allergikere om folk tar med dyr om bord i vognene. Setene bør også være mulige å slå opp, slik at man får plass til barnevogn og sykler, hvis ønsket.

En ulempe med få seteplasser i hver vogn er at hvis det er mange som reiser sammen, blir de nødt til å ta flere vogner. For voksne personer og ungdommer bør ikke dette være et stort problem. Det blir derimot mer problematisk hvis det for eksempel er en mor som reiser med mange barn. Siden småbarn ikke veier like mye som voksne, kunne det være en fordel å utforme setene slik at flere barn kan sitte på dem. Vognene som SkyWeb Express tenker seg er designet omtrent på denne måten. (Figur 5-4)

Figur 5-4 Taxibanevogn fra SkyWeb Express

Man kunne også legge inn mulighet for slaving av vogner, slik at vognene følger samme rute og ankommer likt. Da kunne moren sende de eldste barna først, og dra

etter i en annen vogn med småbarna, og samtidig være sikker på at de kommer fram samtidig, og at de havner på samme stasjon hvis en av vognene av en eller annen grunn må endre destinasjon.

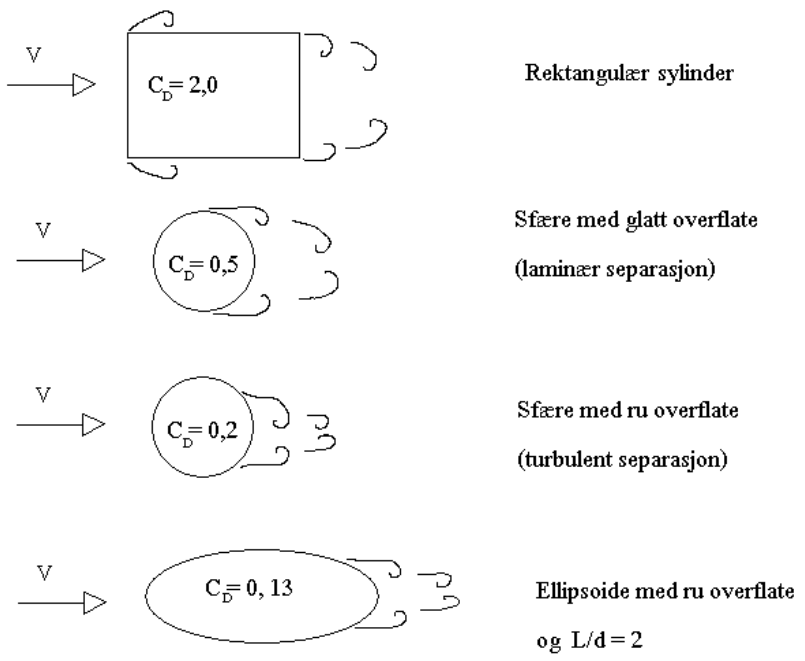
En mulighet kunne også være at folk skal kunne bestille spesielle vogner ved behov. I så fall må antakeligvis plattformområdet være større, slik at andre folk skal kunne gå på vognene mens det er noen som venter på bestilte vogner. I eksemplet med moren, kunne hun dermed bestille en spesiell ”barnefamilievogn” hvor det er litt flere seter som er tilpasset for barn.

Når det gjelder spesielle vogner, har man i enkelte taxibaneprosjekter også tenkt seg at man skal kunne utvide systemet til å brukes for å sende enkle, lettere pakketransporter. Det kan da være spesielle vogner tilpasset dette, og rutenettet kunne da utvides til å ha spesielle mottaksstasjoner i større bedrifter som tar i mot mange små pakker, for eksempel postkontorer.

For at vognene ikke skal få så mye luftmotstand er det viktig at luftstrømmen blir hengende fast langs konturen av vognen lengst mulig. Det vil si at separasjonen av strømningen flyttes lengst mulig bak. Dette blir påvirket av to faktorer, der det ene er materialet i overflaten, friksjonsmotstanden, og det andre er formen på vognen, formmotstanden.

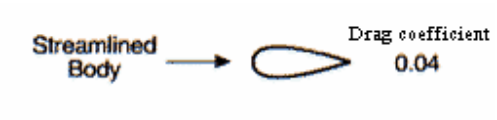
Luftmotstanden i vognen blir $C = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D A$

Der ρ er tettheten til lufta, V er farten til vognen, A er projisert areal og C_D er motstandskoeffisienten.



Figur 5-5 Motstandskoeffisientene ved forskjellige legemer, tallene er hentet fra [40]

En ellipsoide med størst mulig L/d forhold og ruglete overflate for å fremprovosere turbulent strømning er tilnærmet ideelt, og hvis vi i tillegg spisser den litt bak får vi ytterligere besparelser.

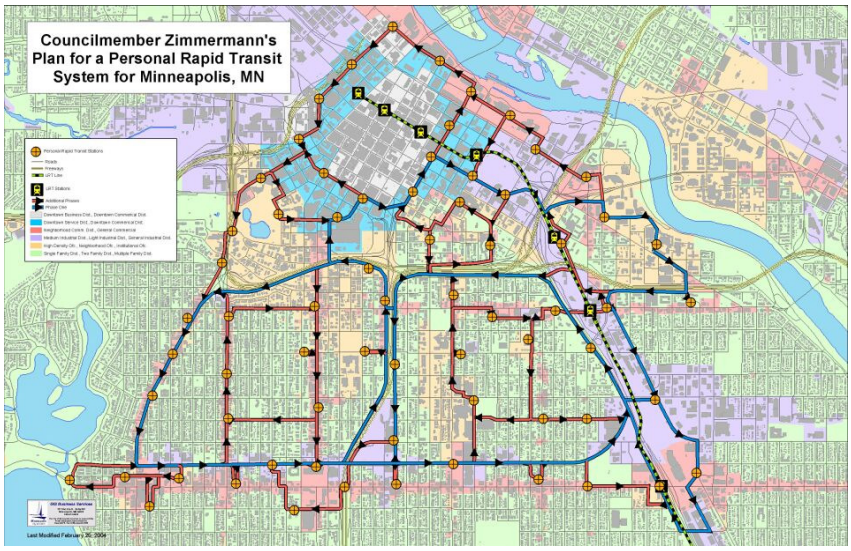


Figur 5-6 Strømlinjeformet legeme med lav teoretisk motstandskoeffisient [41]

Generelt sett burde vognene være så lette som mulig, være lette å rengjøre og vedlikeholde, og i tillegg altså være aerodynamiske, for å holde kostnadene på et lavt nivå. Klimaanlegg og andre tilleggsfunksjoner vil riktignok øke kostnadene, men et visst komfortnivå er nok nødvendig for at folk skal velge å bruke taxibanen framfor personbil.

5.2.4 Rutenett

I SkyWeb Express og enkelte andre taxibaneprosjekter tenker man seg at i stedet for at det skal være et dobbeltspor i stjerneformasjon, skal rutenettet bygges opp av enveiskjørte sløyfer. Fordelen med dette er at man da ikke får problemer med spor som må krysse hverandre for å gå i en annen retning. I stedet blir alle kryss utformet som sammenfletting av to spor, eller oppdeling av et spor. En annen fordel med dette er at det blir færre spor på samme sted, slik at det ikke blir like mye visuell forurensning.



Figur 5-7 Tenkt sløyfenettverk i Minneapolis [43]

Riktignok vil et slikt system føre til at hvis man skal noen stasjoner i motsatt retning av en sløyfe, så må vognen kjøre rundt hele sløyfen for å komme til den stasjonen. Dette kan virke irriterende, men siden vognene ikke trenger å stoppe på mellomstasjoner, og sløyfene ikke skal være altfor store, bør det ikke ta så veldig mye lengre tid enn hvis vognen gikk i ”riktig” retning. I tillegg er det ikke alltid sikkert selv i dagens bussystem at man kan ta en buss direkte mellom to stasjoner, selv om de er forholdsvis nærme.

En annen ting som man må tenke på når man planlegger rutenettet, er om trafikken på hovedsporet hele tiden vil kunne gå uavbrutt. Enkelte skeptikere mener at det kan være et problem for vogner på stasjonene å slippe til når det er for mange

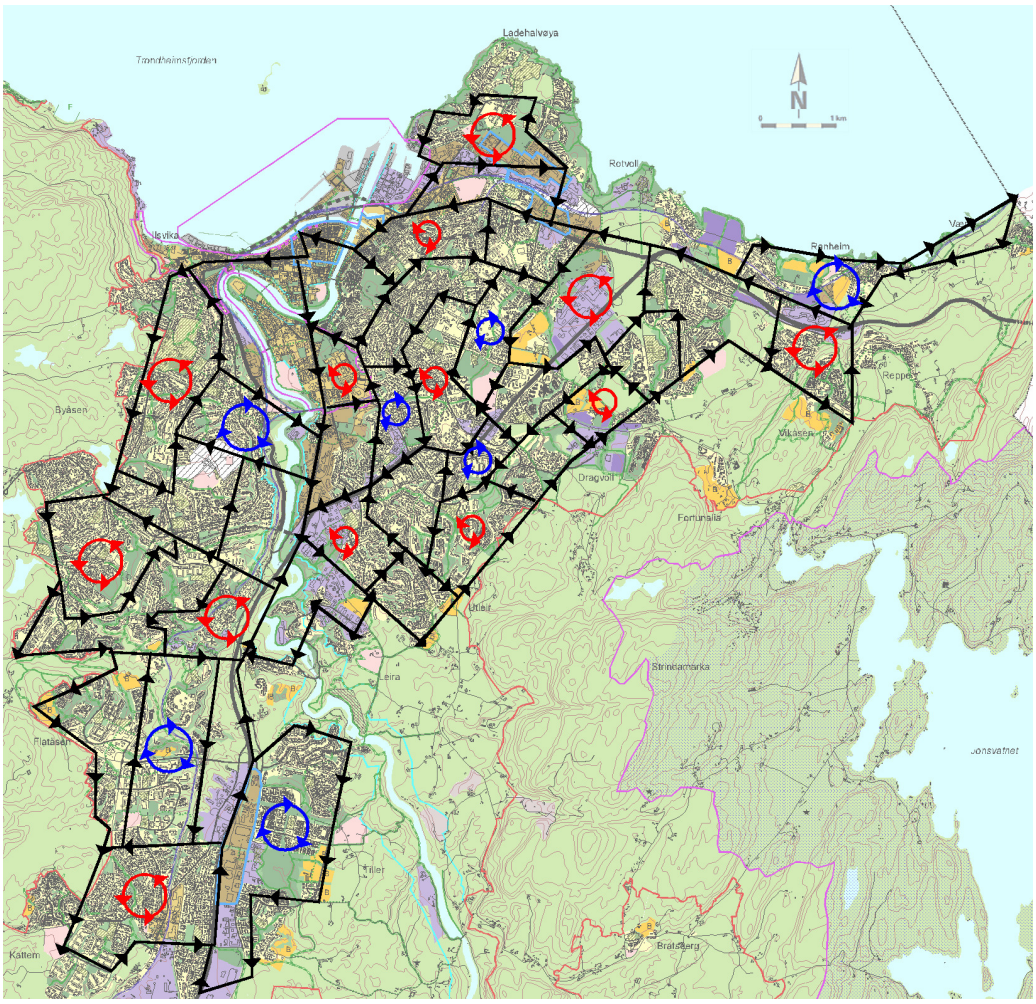
vogner på hovedsporet, og at farten likevel må senkes når to spor skal slås sammen. Vi må innrømme at det kan stemme at farten må senkes i kryss hvor to spor slås sammen til et. Likevel vil vi tro at effekten av dette ikke er like stor som i vanlig trafikk. Årsaken er at siden vognene blir styrt elektronisk, vil reaksjonstidene være mye raskere. I vanlig trafikk må sjåførene i hver bil prøve å forutse hva de andre sjåførene skal gjøre. I taxibanesystemet kan vognene sende signaler til hverandre, og på millisekunder beregne optimal adferd. Dette burde være mye raskere enn i tradisjonell trafikk med menneskelige sjåfører.

Vi nevnte i introduksjonen at vi hadde som håp at taxibanesystemet skulle kunne erstatte personbiltrafikken innenfor bomringen i Trondheim. Men hvor skal grensen ligge for hvor langt systemet skal gå? Antakeligvis trenger iallfall rutenettet ikke å gå særlig lenger enn det busslinjene gjør i dag. I stedet for å prøve å utvide rutenettet til å gå til alle enkeltstående hus i Trondheim, kunne man ha en eller flere større taxibanestasjoner litt utenfor bomringen, og ha parkeringshus ved disse stasjonene. Dermed vil pendlere som bor et godt stykke unna Trondheim, kunne sette fra seg bilene og ta taxibane inn til sentrum. Med disse stasjonene utenfor bomringen ville pendlerne i tillegg kunne slippe bompenger. Trafikken i sentrum ville da bli mindre.

Dette vil også være en fordel for turister, som ikke er så godt kjent i Trondheim sentrum. De kunne parkere i parkeringshusene og bruke taxibanen, som automatisk vil finne fram til stedene som turistene skal fram til. Dermed slipper turistene å måtte kjøre rundt i sentrum for å finne fram selv. Hvis man da i tillegg har stasjoner inne i større hoteller, kan turistene som skal bo i disse ta med seg bagasjen direkte til hotellet. Ellers forutsetter dette at parkeringshusene skal være forholdsvis sikre, om turistene blir nødt til å la det ligge igjen bagasje i bilene. I så fall må det være et overvåkningssystem som passer på, noe som øker kostnadene for parkeringshusene. Likevel er det viktig at parkeringen skal være så billig som mulig eller helst gratis, for at folk skal synes det er noe å spare på å bruke dem og

taxibanen, i stedet for å kjøre inn til sentrum. Man kunne for eksempel dele kostnadene med eventuelle hoteller som velger å ha taxibanestasjoner.

Et fornuftig valg når det gjelder å innføre et rutenett av dette transportsystemet i Trondheim, ville være å i alle fall ha spor som følger de vanligste bussrutene i dag, spesielt hovedåren gjennom Trondheim sentrum. Rutenettet burde også ha flere stasjoner enn det bussrutene har i dag, ettersom et rikt utvalg av stasjoner er mye av poenget med taxibanen. Vi har valgt maks en halv km som et krav når det gjelder hvor langt man må gå for å finne en stasjon, men det varierer selvsagt også fra sted til sted. I mindre bebodde steder kan man ha færre stasjoner, mens det i sentrum kanskje kunne være greit å ha flere stasjoner.



Figur 5-8 Grov skisse over hvordan et rutenett kunne se ut i Trondheim. Sløyfene er markert med sirkler for å gjøre dem tydeligere. Stasjoner er ikke plassert, pilene viser kun hvilken retning sporene har.

5.3 Funksjon

I denne delen tenker vi oss hvordan systemet skal fungere i bruk. Vi har litt om hvordan vognene skal styres fram til mål, hvordan brukerne skal velge hvor de skal reise, og til slutt om hvordan billettsystemet kan være for taxibanesystemet.

5.3.1 Styring

I et taxibanesystem skal brukerne velge hvor de skal, og vognene blir styrt raskeste vei dit automatisk. Dette fungerer dermed på samme måte som i vanlige taxier, bare at det er datasystem som styrer, i stedet for et ekte levende menneske. Når

vognene får vite destinasjonen, beregner de raskeste rute fram, venter til det er ledig plass på hovedsporet, og setter i gang med å kjøre.

Vognene må i tillegg til vanlig styring, også ha et sentralisert kontrollsystem. Dette er nødvendig fordi kontrollsystemet i tillegg må holde orden på hvilke stasjoner som mangler vogner og sende vogner til disse stasjonene. For å vite dette må den hele tiden vite hvor hver vogn er og hvilke destinasjoner de har, slik at den ikke sender flere vogner til en stasjon som allerede har mange vogner på vei mot den.

Styresystemet har da følgende krav:

- Vognene må vite hvor raskt de skal bremse og akselerere.
- Vognene må vite rutenettet til systemet, enten ved at de i begynnelsen av hver reise henter det de trenger fra hovedsentralen, eller at de har det lagret internt. Hvis de har det lagret internt, burde det være mulig å oppdatere det hvis systemet utvides, uten at alle vognene må innom kontrollstasjonen for å bli oppdatert manuelt.
- Vognene må i tillegg vite hvor i rutenettet de befinner seg til enhver tid. De kan bruke GPS, eller det kunne sendes signaler fra stasjonene som forteller vognene hvor de er.
- Hovedsentralen må som sagt også vite hvor vognene er og hvor de skal, så vognene må sende signaler til hovedsentralen om dette.
- Sentralen må kunne gi vognene destinasjoner (fjernstyre vognene) hvis nødvendig. Hvis for eksempel noen stasjoner mangler vogner og trenger flere, kan sentralen sende beskjed til noen ubrukte vogner på en annen stasjon om å kjøre dit.
- Beregning av rute til destinasjon kan gjøres på vognene hvis de har kartet lagret internt, ellers må de få kjøreruten beregnet fra hovedsentralen.
- Vognene må ta hensyn til andre vogner:
    - Vognene bør ha sensorer som sørger for at de holder en viss forhåndsinnstilt avstand fra andre vogner.

- Stasjonene kunne sende signaler om når hovedsporet har ledig plass, slik at vognene kan kjøre ut av stasjonen, og kryssene kunne også på samme måte ha sensorer og signaler som kontrollerer at det ikke kommer vogner fra to spor inn i samme spor samtidig. Ellers kan muligens sensorene som vognene selv har også brukes til dette formålet.
- Hovedsentralen kunne også eventuelt gi informasjon om hvilke strekninger som er mindre belastet, slik at vognene kan velge mindre belastede ruter hvis nødvendig.

Selv om vognene altså hele tiden bør ha kontakt med kontrollsystemet, er det en fordel om de også kan klare seg uten denne kontakten. Vognene kan ha kartet lagret internt, slik at de selv kan beregne rute til destinasjonen, og informasjonen de får om trafikkflyt kan være et alternativ, og ikke en nødvendighet, for at de skal beregne rute. I et slikt system ville vognene kunne kjøre noenlunde normalt selv om kontrollsystemet er nede. Når dette er sagt, så må vi påpeke at kontrollsystemet naturligvis helst ikke bør være nede i det hele tatt. Man burde sørge for at det er et sikkerhetssystem som kan ta over i nødstilfelle, og at kontrollsystemet aldri skal være nede mer enn et par minutter.

I SkyTran tenkes vognene å kjøre i 160 km/t, men det er antakeligvis ikke nødvendig å kjøre så raskt. SkyWeb Express tenker seg mer beskjedne 40-50 km/t, og det skal heller ikke være nødvendig å ha mye raskere enn det for å gi mindre reisetid enn vanlig kollektivtrafikk. Vi vil teste litt på fart i simulatorkapitlet. Hvis man tar med rushtid og køer i biltrafikken i betraktning, kan det godt hende at selv med så lav fart vil vognene være raskere enn bil. Grunnen til dette er jo at vognene ikke trenger å stoppe på mellomstasjoner, og trafikken på hovedsporet til vognene skal ideelt sett alltid gå med konstant fart. Det blir dermed lite ventetid, og vognene vil kunne ha en gjennomsnittsfart ganske nær ideell fart på hovedsporet (enten det er 160 km/t eller 40 km/t).

5.3.2 Valg av destinasjon

For at brukerne skal kunne velge destinasjon, må det være et brukergrensesnitt enten i vognene eller eventuelt på stasjonene. Via brukergrensesnittet skal brukerne kunne taste inn, eller på annen måte stille inn destinasjonen de skal til.

Folkene bak SkyTran mener at den beste måten å velge destinasjon på er stemmestyring. Brukerne skal da kunne sette seg inn i en vogn, si en adresse eller sted, og vognene vil da automatisk bli sendt til stasjonen som er nærmest destinasjonen. En skjerm som viser valgt destinasjon kan da være plassert høyt oppe i vognene. Selv er vi ikke like sikre på om stemmestyring har kommet såpass langt at det kan brukes i et så omfattende system som dette. Ville systemet kunne brukes av nordmenn fra andre deler av Norge, med ulike dialekter? Eller turister, for den saks skyld?

Figur 5-9 Brukergrensesnitt SkyWeb Express [11]. Man velger stasjon ved å taste inn id-nummeret til destinasjonen.

Vi har forestilt oss et system hvor man velger stasjoner på en skjerm. Ulempen er, i følge SkyTran, at et system hvor vognene styres via en skjerm i vognene, ville være mer utsatt for hærverk eller uhell som kaffesøl, oppkast og lignende.

Grunnen er at skjermer som brukerne skal bruke, må være lavt plassert for å være praktiske. Dessuten må det være inntastingsmuligheter, som krever fysisk kontakt, og som dermed gir økt slitasje. I tillegg er det stor sannsynlighet for at et skjermstyrt system vil ta lengre tid å bruke enn et system hvor man kun trenger å si hvor man skal for å velge destinasjon.

Et alternativ da er at man velger stasjon på forhånd, før man går opp på stasjonen og inn i vognen. Man må da ha en maskin på stasjonene hvor folk kan velge destinasjonen, og lagre dette i billetten sin. Dette vil da bli avlest når brukeren bruker billetten for å slippe inn i vognen, og han trenger dermed ikke å velge stasjon i det hele tatt når han går om bord i vognen. Når en person går på en vogn, kan en annen velge stasjon samtidig, og det blir bedre flyt i påstigningen. Hvis man i tillegg har flere maskiner på stasjonene, kan det gå enda raskere, forutsatt at tiden det tar fra en person går på en vogn til en annen vogn er tilgjengelig, er kortere enn tiden det tar å velge stasjon. Dette løser dessverre heller ikke problemet med vedlikehold, men siden det er færre stasjoner enn vogner, vil det iallfall bli færre maskiner å vedlikeholde. Til gjengjeld kan maskinene være mer utsatt for hærverk og værforhold enn maskiner inne i vognene.

I stedet for å ha maskiner på stasjonene, kunne man ha et oversiktskart på bakkenivå på hver stasjon. I vognene kan det være et kartbasert brukergrensesnitt, muligens med touchskjerm, hvor folk kan zoome inn på forskjellige regioner for å velge destinasjon. Brukerne som skal til et nytt sted, kan da først bruke oversiktskartet på stasjonene til å finne ut hvor destinasjonen deres ligger, før de går om bord i vognene. Dermed bør det være lettere for dem velge seg fram til riktig sted på kartet. Etter å ha valgt stasjon et par ganger bør brukerne også huske hvor i kartet stasjonen deres er, og kan da velge stasjon raskere. Dette løser ikke problemet med vedlikehold i vognene, men burde iallfall være raskere enn å ha et system hvor folk må taste inn stasjonsnavnet eller id-numre for å velge destinasjon. Folk som bruker PC lite, ville neppe bli noe særlig raskere til å skrive på tastatur selv om de reiser ofte med taxibanen.

Likevel må vi nok si at et stemmestyrt system, forutsatt at det virker effektivt, antakeligvis er det systemet som tar kortest tid å bruke. De fleste mennesker er i full stand til å snakke, i motsetning til hvor mange det er som kan touch, er flinke til å huske numre eller har god kjennskap til lokale geografiske forhold. Men vi er ikke sikre på hvor brukbare de forskjellige teknologiene er. Om man velger å bruke en touchskjerm, hvor lenge ville de vare? Ville de bli altfor fort utslitt og ubrukelig? Kanskje ville det beste være å gjøre brukergrensesnittet modulært, slik at det blir lett å bytte dette ut dersom man finner dette nødvendig? Hva som er best å bruke, kommer da an på hvor modne de forskjellige teknologiene er når man skal begynne å designe disse vognene i detalj.

5.3.3 Billettsystem

Siden vognene som blir brukt skal være førerløse, sier det seg selv at billettsystemet også må forutsette at billettene leses maskinelt eller digitalt. Et elektronisk billettsystem er dermed det beste for at man skal kunne bruke taxibanesystemet effektivt, uten unødvendige forsinkelser når folk skal om bord i vognene.

Et system som krever betaling per passasjer ville også være unødvendig komplisert, siden man da måtte sjekke at det ikke går flere om bord i vognene enn de som har betalt. Det er like greit å la det være betaling per vogn som brukes, på samme måte som vanlig taxi. Taxi koster som kjent like mye uansett hvor mange som reiser sammen. Dette oppfordrer også folk til å reise sammen, noe som vil senke energiforbruket.

I Skytran-systemet foreslås det at man burde bruke en kontaktløs teknologi som RFID, framfor en teknologi hvor billetten må være i fysisk kontakt med leseren for å kunne bli avlest. Dette vil gi mindre slitasje på kortleserne, og dermed gi lavere vedlikeholdskostnader.

I Hong Kong er det i dag i kollektivtrafikken allerede tatt i bruk et elektronisk billettsystem som fungerer utmerket [24]. Man kjøper elektroniske kort som har lagret en viss verdi, og for å bruke kortet trenger man bare å vifte det foran billettleseren. (Figur 5-10) Man trenger ikke engang å ta kortet ut av lommeboken, så lenge kortet er innen et par cm fra kortleseren. Hver gang man bruker kortet, blir prisen for reisen trukket fra på kortet. Man kan fylle opp verdi på kortet enten i billettkontorer eller i automater på alle tog- og t-banestasjoner.

Figur 5-10 Octopus cards [24], billettsystemet brukt i Hong Kong

Det er ingen personlig informasjon som kan hentes ut fra kortet, så det er ingen fare for overvåkning av personer via disse kortene. Dette betyr også at hvis noen stjeler kortet ditt, så får du ikke forhindret at de skal kunne bruke det. Dette er likevel ikke noe forskjell fra for eksempel en vanlig bussbillett i dagens system, eller vanlige penger.

t:kort [25], som Team-Trafikk tester ut for tiden, ser ut til å være temmelig likt med dette systemet. Et alternativ blir dermed å bruke t:kort-systemet som billettsystemet for svevevognene, i stedet for å innføre et helt nytt elektronisk system. Selv om t:kort fremdeles er i testefasen når vi skriver dette, er det likevel et system som altså er testet i Trondheim, noe som burde være en fordel når det skal tas i bruk. Riktignok er dette systemet forsinket og er meldt å ha problemer [26], men ut i fra artikkelen og kommentarene til den, virker det som om problemene stort sett skyldes manglende opplæring og dårlig implementering, og ikke nødvendigvis at det er noe galt med systemet i seg selv.

En ting som ennå ikke er vurdert når det gjelder disse kortene, er om det vil være noen problemer med å få tak i dem. I Hong Kong er dette stort sett ikke noe problem. For t-bane og tog, der det ikke er noen om bord som sjekker billetter (man bruker i stedet billetten for å komme inn på selve stasjonen), er som nevnt stasjonene betjente, og man kan altså kjøpe billetter og fylle på verdi på alle stasjonene. For den betjente kollektivtrafikken (busser og trikker, hvor man må gå via sjåføren for å komme om bord), kan man betale kontant hvis man ikke har billetter.

For taxibanesystemet er jo det et hovedpoeng at stasjonene og vognene skal være ubetjente. Man kan som nevnt tidligere kjøpe billetter i de betjente stasjonene i sentrum, men det bør også være mulig å kjøpe billetter andre steder. Dette kan oppnås ved å plassere billettautomater på alle stasjonene, eller ved å gjøre det mulig å få tak i billetter på andre måter, som ved å la vanlige butikker, kiosker og eventuelle andre salgssteder å selge dem.

Hvis det er planlagt å ha maskiner for valg av destinasjon på stasjonene, så burde det ikke være et veldig stort problem å utvide disse til også å selge billetter, og til å lade verdi på billettene. Dette er da også det som er mest praktisk for brukerne, noe som er ganske viktig for å få folk til å bruke systemet.

5.4 Sikkerhet

Det er klart at et førerløst system som henger oppe i luften stiller en god del krav til sikkerheten. Vil vognene holde? Er det muligheter for at vognene detter ned? Vi vil her prøve å ta for oss tema rundt sikkerhet i vognene, sporene og stasjonene, og i tillegg ta for oss hærverk generelt.

5.4.1 Vognsikkerhet

Det bør naturligvis være ganske stor forskjell på tillatt vekt i vognene og hvor mye man regner med at vognen tåler. En vektsensor som sjekker at vognene ikke blir for tunge er nok nødvendig. (På samme måte som i heiser.) Dette skal også sørge

for at vognene også holder selv om passasjerene skulle finne på å riste og gynge inne i vognene.

Det skal også være sikkerhetsbelter i vognene, og vognene skal ikke starte før beltene er festet. Dette er nødvendig fordi vognene tross alt skal bevege seg med en viss fart, og de kan i nødstilfeller være nødt til å bremse raskt. Siden setene skal brukes av både barn og voksne, må dette tas med i betraktning når man designer sikkerhetsbeltene.

I et system som bruker EDS, ville ikke vognene falle ned på sporet selv om det blir strømstans. SkyTran-prosjektet foreslår også å ha nødstrøm i vognene, slik at disse ved strømbrudd likevel vil gå til destinasjonen, eller iallfall til nærmeste stasjon.

Røykdetektor bør naturligvis være om bord i vognene, men hvordan burde vognene oppføre seg hvis røykutvikling blir oppdaget? En mulig løsning er at vognen automatisk går til nærmeste stasjon for å slippe av passasjerene, men hva hvis passasjerene er skadet? Kanskje burde vognen sendes til en bemannet stasjon slik at det vil være noen som kan ta seg av passasjerene? Eller kanskje dette burde kunne velges av de nevnte passasjerene? Dette er noe som krever litt mer planlegging, og vi lar dette være åpent foreløpig.

5.4.2 Sporsikkerhet

Selv om sporene er plassert høyt oppe, kan man ikke være 100 % sikker på at sporene aldri er blokkert. Det burde være sensorer enten på sporene, på vognene eller begge deler, som oppdager om det er ting som blokkerer sporet, eller om sporet er ødelagt. Når noe slikt blir oppdaget, burde området markeres og unngås, og man bør umiddelbart sende folk til stedet for å løse problemet. Likevel bør det faktum at sporene er høyt plassert iallfall føre til at det høyst sjeldent kan være noe som blokkerer sporet. I SkyTran–systemet tenkes vognene å henge under sporet, og sporet omslutter da hengeelementet. Siden sporet ikke er åpent på toppen, vil det være veldig liten sjanse for at noe skal kunne ligge på sporet og blokkere for

vognene. Ting som kan blåses underfra og opp inn i sporet, vil like lett kunne bli blåst ut igjen når vognene kjører forbi, uten å påvirke vognene noe særlig. SkyWeb Express løser problemet med snø ved å designe sporene slik at minimalt med snø skal havne på sporet, og det skal brukes plog til å fjerne snøen som faktisk havner på det.

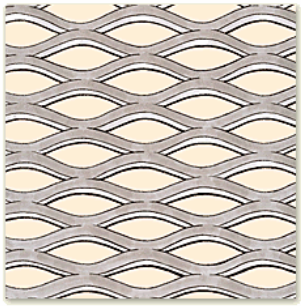
Et problem som er nevnt av skeptikere er fare for neddrypp fra sporet. Vil vanndråper som blir igjen fra regn og snø dryppe ned fra sporene? Eller verre, vil istapper eller maskindeler falle ned fra sporene? Skeptikerne mener at det er nødvendig med et samlebrett eller lignende under sporene, for å forhindre dette. Dette burde egentlig ikke være et stort problem, så lenge designen av sporene er fornuftig. Man bør naturligvis forme sporene slik at det ikke samler seg mye snø eller regn på sporene, og man kan sørge for at eventuelle vanndråper blir ledet bort til stolpene, hvor neddrypp burde være et mindre problem. I så fall burde det ikke dannes istapper.

Når det gjelder maskindeler, er det en selvfølge at man bruker kraftige nok materialer når man designer vognene. Man må sørge for at vognene skal tåle en god del. Både i SkyTran og SkyWeb Express omslutter sporet den delen av vognen som henger/kjører på sporet. Dermed skal det iallfall ikke være fare for at vognene sporer av. Man kan aldri være hundre prosent sikker på at systemer ikke feiler, men det er desto viktigere at systemet ikke får noen alvorlige feil i begynnelsen, slik at folk skal begynne å få tillit til systemet. Systemet skal designes på en slik måte at det blir ekstremt liten sjanse for at vognene skal ødelegges, selv ved ekstrem påkjenning!

5.4.3 Stasjonssikkerhet

Siden det skal være trapper på stasjonene, og disse skal ligge ganske høyt oppe, bør man sørge for at det skal være trygt å ferdes på trappene og stasjonsplattformene, selv om vinteren. Varme på trappene og plattformene for å unngå is og snø, ville antakeligvis være for dyrt. Et bedre alternativ vil nok være å

bruke strekkmetall, slik at snøen faller i gjennom. Strekkmetallet må ha en ru overflate, slik at trappene ikke blir glatte.



Figur 5-11 Strekkmetall

Det må naturligvis også være et solid rekkverk på trappene og på plattformene. Rekkverkene må være utformet på en slik måte at det ikke skal være fare for at barn skal falle gjennom det.

5.4.4 Hærverk

Siden vognene er førerløse, vil vogner som står og venter på stasjonene være lette mål for folk som ønsker å gjøre skade. Det vil heller ikke være noen om bord i vognene som kan hindre hærverk, forsøpling, søl og annet som gjør vognene mindre tiltrekkende å bruke. (Ikke det at bussjåførene får hindret så mye innvendig hærverk heller.)

En mulig løsning å forhindre hærverk på er å installere kameraer på alle stasjonene, men dette ville antakeligvis bli for dyrt. Dette er fordi systemet baserer seg på at det skal være veldig mange stasjoner, og overvåkningen av så mange stasjoner ville være veldig omfattende. I tillegg er det ganske strenge regler for bruk av kameraovervåkning i Norge, så det er ikke sikkert at man hadde fått tillatelse til dette uansett.

En løsning på dette kunne være at folk skal kunne velge å sende en vogn inn til kontrollstasjonene hvis de oppdager problemer ved vognen. Der kan den bli satt til side for reparasjon og rensing, og nye vogner kan sendes ut dersom det er nødvendig. Dette forhindrer ikke hærverk og forsøpling, men det minimerer

konsekvensene av disse, ved å øyeblikkelig ta ut av bruk de vognene som blir utsatt.

5.5 Tilgjengelighet

Siden sporene er hevet over vanlig gatenivå, må brukerne opp et sett med trapper for å kunne reise med systemet. For blant annet folk med rullestol og folk med barnevogner kan dette være et problem. Å installere heiser på alle stasjoner er ikke et alternativ, ettersom dette ville gjøre systemet altfor dyrt. Et alternativ kunne være å ha spesielle stasjoner for spesielt trengende, men hvordan skulle man plassere disse? Hvis de bevegelseshemmede må dra lang avstand for å kunne finne stasjoner tilpasset dem, vil det jo være et problem.

Folkene bak SkyTran foreslår at man i stedet for å utvikle systemet til å kunne brukes av bevegelseshemmede, i stedet bruker ”de pengene man sparer på å bruke systemet” til å utvikle et eget transporttilbud for dem. Men dette blir ikke nødvendigvis veldig godt likt av organisasjoner for handikappede. Norges Handikapforbund har på sitt nettsted påpekt at kollektivtrafikk bør være tilgjengelig for alle, også handikappede, og at det ikke burde være spesialløsninger for handikappede [27].

Det ser dermed ut til at det er nødvendig å i det minste ha en del utvalgte stasjoner med spesialtilpasning for trengende brukere, med blant annet heis og eventuelt større plattformområde. Hvordan disse stasjonene skal plasseres, blir dermed et planleggingsspørsmål, og må utarbeides i samarbeid med kommunen, slik at for eksempel bydeler med flere eldre får flere tilpassede stasjoner.

Andre grupper personer som man må tenke på er svaksynte/blinde og stumme. Dersom systemet styres med stemmestyring, burde ikke svaksynte eller blinde personer ha problemer med det, men det må i så fall være et alternativ for stumme. I SkyTran-systemet blir det foreslått at vognene kan styres med spesielle trådløse

kontrollere som de stumme da kan få utdelt. Ellers kan man kanskje ha et alternativt kontrollsystem med tastatur eller lignende i vognene.

Hvis systemet derimot skal styres via et kartgrensesnitt på skjerm, enten det er på stasjonene eller i vognene, er det klart at svaksynte og blinde vil ha problemer med å bruke systemet. Maskinene må designes slik at blinde også kan bruke dem, for eksempel ved å ha knapper med blindeskrift på, og la maskinen lese opp valgene. Hvis valg av destinasjon foregår i vognene, kunne man også gjøre det samme som ble foreslått for stumme, altså en slags trådløs kontrollenhet som de svaksynte og blinde kan bruke som alternativ. Helst skal man unngå den flausen som skjedde i Oslo, der Oslo Sporveier har brukt 200 millioner kroner på billettautomater som blinde ikke kunne bruke. [42]

5.6 Tanker til slutt

Under planleggingen av vår versjon, har vi tydelig sett at det er mange punkter som vi ikke er helt sikre på. Spesielt er det vanskelig å veie opp funksjonelle krav til systemet opp mot at systemet skal være billig å bygge og vedlikeholde. Likevel synes vi at dette systemet er såpass interessant at det burde gis en sjanse. Om det fungerer som planlagt, er det klart at det vil gi store besparelser for samfunnet, både med hensyn til miljø, økonomi og reisetid for enkeltpersoner. Reiser burde være raskere enn dagens kollektivtrafikk, og være mer miljøvennlig enn både busser og biler.

Riktignok må vi nok si at slik vi har tenkt oss systemet, er det nok ikke mulig å erstatte all personbiltrafikken i Trondheim. For folk som skal på hyttetur og andre turer, og skal reise med mer enn en behagelig mengde med bagasje, er nok personbil uansett det beste alternativet. Men taxibanesystemet burde likevel ideelt sett kunne erstatte den personbiltrafikken som foregår til og fra skole, jobb, handleturer og fritidsaktiviteter.

Det mest realistisk er nok å tenke seg at systemet ikke innføres i hele Trondheim med en gang, men heller blir implementert i et mindre område først. Det naturlige valget ville da vært å innføre et rutenett som dekker de største ”studentbyer” og Gløshaugen/Dragvoll, ettersom studenter utgjør en av de største forbruksgruppene av kollektivtrafikk, i følge reisevaneundersøkelsen fra SINTEF [4]. Studenter er antakeligvis også den gruppen som ville vært mest villige til å bruke det nye systemet. Hvis dette viser seg å være suksessfullt, vil det dermed bli lettere å innføre systemet i resten av Trondheim, og først da erstatte dagens kollektivtrafikk, og eventuelt sette i gang tiltak som oppfordrer til bruk av dette systemet framfor å bruke personbiler.

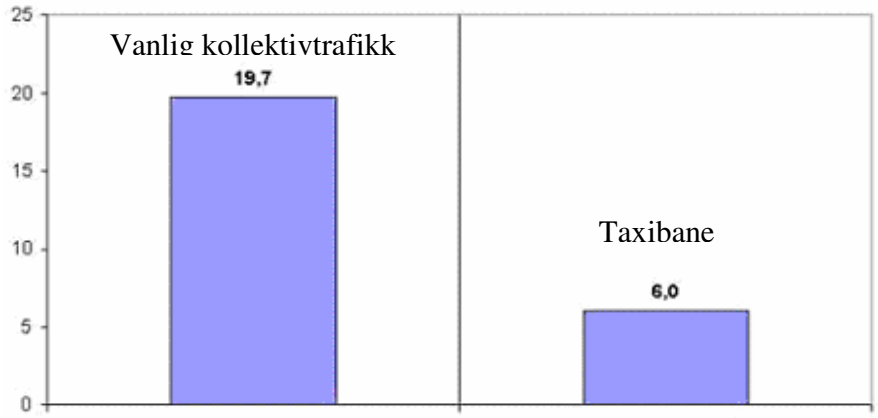
For at dette skal være mulig, må systemet fungere optimalt når det skal tas i bruk, slik at folk skal kunne få tillit til systemet. Alle kravene som vi stilte i introduksjonen bør være oppfylt, og helst burde folk ha hatt mye informasjon om prosjektet underveis, slik at de skal være godt kjent med systemet når det er klart til bruk. For å få til dette kreves atskillig mer planlegging enn det vi har kunnet gjøre i løpet av den korte tiden vi har hatt, og vi håper at noen ved NTNU, eventuelt private investorer og aktører, er villige til å satse på at det brukes mer ressurser på å utvikle et taxibanesystem her i Trondheim.

6 Økonomi

Utfordringen for taxibaneprosjekter er at de konkurrerer med allerede etablerte infrastrukturer. Det vil si at investeringene er gjort og pengene er brukt og man vil gjerne utnytte levetiden når man først har foretatt en investering. Det er også store usikkerheter knyttet til de økonomiske overslagene til taxibaneprosjekter ettersom man har lite erfaringer å støtte seg til. Taxibanene som er i drift i dag har et prototypepreg og man kan vente at læringskurver og stordriftfordeler etter hvert vil redusere kostnadene.

6.1 Investeringskostnader

Figur 6-1 viser at taxibane er omtrent tre ganger billigere å bygge enn buss/trikk og T-bane. Investeringskostnadene dekker etablering av all nødvendig infrastruktur, inkludert vogner og stasjoner.

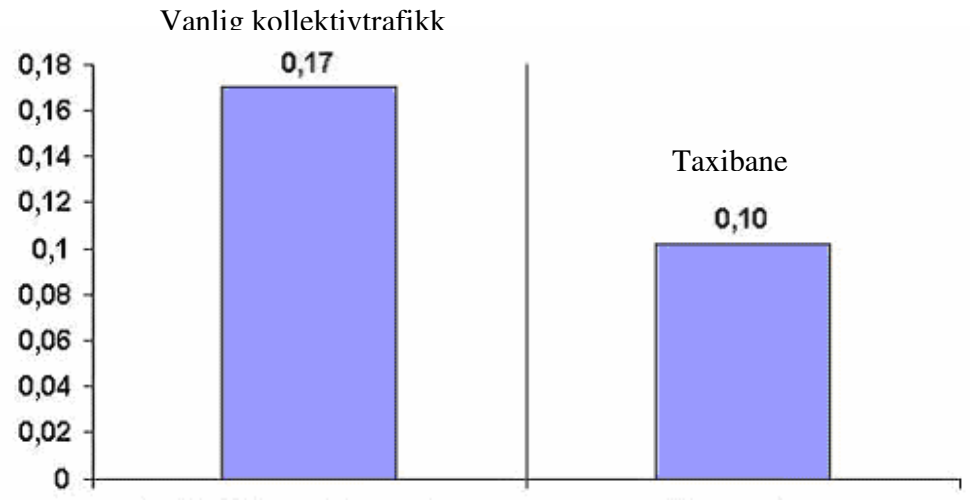


Figur 6-1 Gjennomsnittlige investeringskostnader for ulike persontransportsystemer i millioner Euro per km bane. [13]

Her er 29 ulike Trikk-, T-bane- og trikkebussprosjekter sammenlignet med tre ulike taxibaneprosjekter. Taxibaneprosjektene er ULTra, Taxi 2000 og Austrans. Tall innhentet fra SkyTran anslår byggekostnadene til under 10 millioner dollar per amerikanske mil [16]. Med dagens (20. april) valutakurser tilsvarer dette omtrent 8 millioner Euro per kilometer.

6.2 Driftskostnader

Driftskostnader består blant annet av kostnader forbundet med vedlikehold, bemanning og energiforbruk. De fleste taxibanekonsepter er fokusert på få bevegelige deler som gir lite slitasje og redusert behov for vedlikehold. Det vil bli lite eller intet behov for snørydding. Bemanningen reduseres i og med at det ikke er behov for sjåfører. Kostnader til energiforbruk er til enhver tid avhengig av prisen på elektrisitet eller det aktuelle drivstoff samt virkningsgrad. Figur 6-2 viser driftskostnader for de samme prosjektene som er analysert i Figur 6-1.



Figur 6-2 Gjennomsnittliger drifts- og vedlikeholdskostnader i Euro per personkm [13]

6.3 Energiforbruk

Alle aktuelle taxibaneprosjekter har elektrisk framdrift og på den måten den samme fordelen som trikk og T-bane. De har mulighet til regenerativ bremsing. Det vil si at motoren ved bremsing blir en generator som leverer effekt til nettet i stedet for å brenne av effekten i friksjonsvarme og slitasje i mekaniske bremser. Bremseslitasje har vist seg å være så betydelig at man på Rørosbanen har installert elektriske maskiner som bremser. Dette kan imidlertid ikke sies å være regenerativt ettersom denne strekningen ikke er elektrifisert og effekten brennes av i en elektrisk motstand for å varme kråkene. [31] Et annet aspekt er eksergiinnholdet i energibæreren som de ulike motorene benytter seg av. Eksergiinnhold er den maksimale andelen av energien som kan overføres til

arbeid. En forbrenningsmotor er en varmekraftmaskin hvor effektiviteten er begrenset av Carnotvirkningsgraden, gitt av likning 1.

$$\eta_C = \frac{T_H - T_L}{T_H} \qquad (1)$$

For en bensinmotor med forbrenningstemperatur på ca 500˚C, vil den maksimale teoretiske virkningsgraden være 64 %. I realiteten har de fleste bilmotorer en virkningsgrad på 20 – 30 %. Elektrisitet har et eksergiinnhold på 100 % og dermed ingen termodynamisk øvre begrensning i virkningsgrad.

For taxibaners økonomi betyr dette at man kan leve med at en kWh koster mer som elektrisitet enn den gjør som flytende drivstoff. Tabell 6-1 viser imidlertid at så ikke er tilfelle. Elektrisitet er billigere, inkludert nettleie og forbruksavgift.

Energibærer	Øre/kWh
Bensin 95 oktan blyfri [32]	117,55[3]
Elektrisitet [33]	73,7

Tabell 6-1 Pris for ulike energibærere

Taxibane	kWh/personmil
SkyTran [16]	1,1[4]
SkyWeb Express 2000 [1]	1,25

Tabell 6-2 Energiforbruk for ulike taxibaner.

[3] 10,65 kr/liter, omregnet i forhold til et energiinnhold på 43,5MJ/kg og en tetthet på 0,75kg/l

[4] Tallet er regnet ut ved å konvertere de oppgitte ”200 miles per gallon” til kWh/personmil ved å anta et energiinnhold på 43,5MJ/kg og en tetthet på 0,75kg/l for drivstoffet og en passasjer i hvert kjøretøy.

	kWh/personmil
Personbil (bensin)	10,7[5]
Buss [2]	4,2
T-bane, sporvogn [2]	2,3-3

Tabell 6-3 Energibruk for andre persontransporttilbud

Tallene i Tabell 6-2 og Tabell 6-3 er ikke helt sammenlignbare ettersom det i tabell Tabell 6-3 er tatt med energiforbruk langs hele livsløpet til kjøretøyet, mens det i Tabell 6-2 kun er tatt med energiforbruk som går til framdrift. Men om man regner ut energiforbruk ved framdrift i bil kan man komme fram til 9,06 kWh/personmil. Dette ved å anta gjennomsnittlig 1,2 personer i bilen, drivstofforbruk på 1,2 liter/mil og følgende egenskaper for drivstoffet: energiinnhold på 43,5 MJ/kg og en tetthet på 0,75 kg/l. Av dette kan man slutte at taxibane er mer energieffektivt enn de persontransporttilbud som finnes i Trondheim i dag. Sammenholdes dette med tallene i Tabell 6-1, ser man at energikostnad per personmil vil være betraktelig lavere for taxibane enn for buss, bil og trikk.

6.3.1 Energibehov og nettkapasitet

Det er interessant å finne det totale daglige energiforbruk som trengs i en taxibane som er tenkt å erstatte dagens persontransport. Det kan gjøres ved å summere antall personmil i Tabell 6-4 med det laveste energibehovet fra tabell 2. Det gir et daglig energibehov på 479 MWh og et årlig på 175 GWh. Dette er et minimum av det man trenger. Det er ikke tatt med i regnestykket den energien som trengs for å sende tomme vogner til stasjoner som trenger det og det er heller ikke tatt høyde for trafikkvekst.

[5] Det er antatt et drivstofforbruk på 1,2liter/mil for kjøring i byer og tettbygde strøk.

Reisemåte	Antall turer [1]	Gjennomsnittlig reisetid i min [4]	Gj.sn-hastighet[6] km/t[34] [35]	Person-mil
Bilfører	270000	16,5	40	297 000
Bilpassasjer	50000	22	40 [13]	73 333
Kollektivt	60000	30	21,7	65 100

Tabell 6-4 Utregning av antall personmil/dag i Trondheim

Maksimal effekt levert elektrisk til Trondheim er 581MWh/time. Om man antar at de fleste reiser vil finne sted om dagen, kan man regne med at en taxibane vil trekke omtrent 40 MW (= 479 MWh/12 timer). Dette er ikke mye i forhold til dagens nettkapasitet og et eventuelt behov for utbygginger vil også avhenge mye av hvor i Trondheim taxibanen tar ut denne effekten. [36]

6.4 Miljøkostnader

Det er en rekke eksterne marginalkostnader knyttet til utslipp, støy, kø, ulykker og slitasje i forbindelse med bil- og busstrafikk. Disse er vist i Tabell 6-5. I dag betaler persontrafikken sine marginale eksterne kostnader i form av avgifter på drivstoff. [7]

	Klima-utslipp, CO2	Lokale og regionale utslipp	Støy	Kø	Ulykker 1)	Slitasje	Sum
Storbyer							
Personbiler, bensin	0,09	0,17	0,14	0,84	0,22	0,00	1,46
Personbiler, diesel	0,12	0,59	0,14	0,84	0,22	0,00	1,91
Buss	0,54	4,58	1,39	1,68	0,50	0,29	8,98
Øvrige tettsteder							
Personbiler, bensin	0,09	0,15	0,14	0,00	0,22	0,00	0,59
Personbiler, diesel	0,12	0,15	0,14	0,00	0,22	0,00	0,63
Buss	0,54	2,07	1,39	0,00	0,50	0,29	4,79

Tabell 6-5 Eksterne marginale kostnader ved transport. Kr per kjøretøykm. [7]

[6] Gjennomsnittshastigheten for bil er funnet ved å legge inn reiseruter i visveg og sammenholde kjøretider med reisens lengde. For kollektivt er det samme gjort med utgangspunkt i rutetider.

6.5 Et regneeksempel

For å leke litt med tallene, skal vi nå lage et eksempel og se hvilken billettpris som gir nåverdi lik null. Med utgangspunkt i SkyTran sine investeringskostnader settes investeringene til 65,2 mill/km. Med en nedbetalingstid på 20 år og avkastningskrav på 5 % p.a., blir de årlige kapitalkostnader lik 5,23 mill. Energiforbruket vil med dagens energipriser tilsvare 0,081kr/personkm. Daglig reises i Trondheim 435 433 personmil, se Tabell 6-4. Dette tilsvarer 1,589 milliarder personkm årlig. Banenettet som trengs for å dekke Trondheim[7] er antatt å være på 100km. Dette gir 15,9 millioner reiser per km installert bane, og en kapitalkostnad per personkm på 0,32 øre. Drifts- og vedlikeholdskostnader per personkm er 0,815 kr [13]. Samlede kostnader til kapital, drift og vedlikehold blir da 1,22 kr/personkm. Med en gjennomsnittsreise på 11 km[8] og et gjennomsnittlig antall passasjerer på 1,2, vil billettprisen for en vognreise bli 16 kr. Dette er riktignok ikke medregnet lønnskostnader, men det ser ut som om konseptet er økonomisk konkurransedyktig med dagens busstilbud der en enkeltreise i dag koster 22kr.

Om man gjennomfører tilsvarende regnestykke med et avkastningskrav på 10 % p.a. og at kun halvparten av personkilometerne overføres til taxibane, vil kapitalkostnaden komme på 0,96kr/personkm og billettpris per vognreise på 24,5 kr. Dette er heller ikke avskrekkende.

---

[7] Dette ut i fra et omtrentlig areal innafor bomringen på 41km^2 og 2km bane per km^2. Så har vi lagt til litt for terreng og fordi vi syntes det hørtes snaut ut.

[8] Utregnet fra tall i tabell 4.

7 Simulering

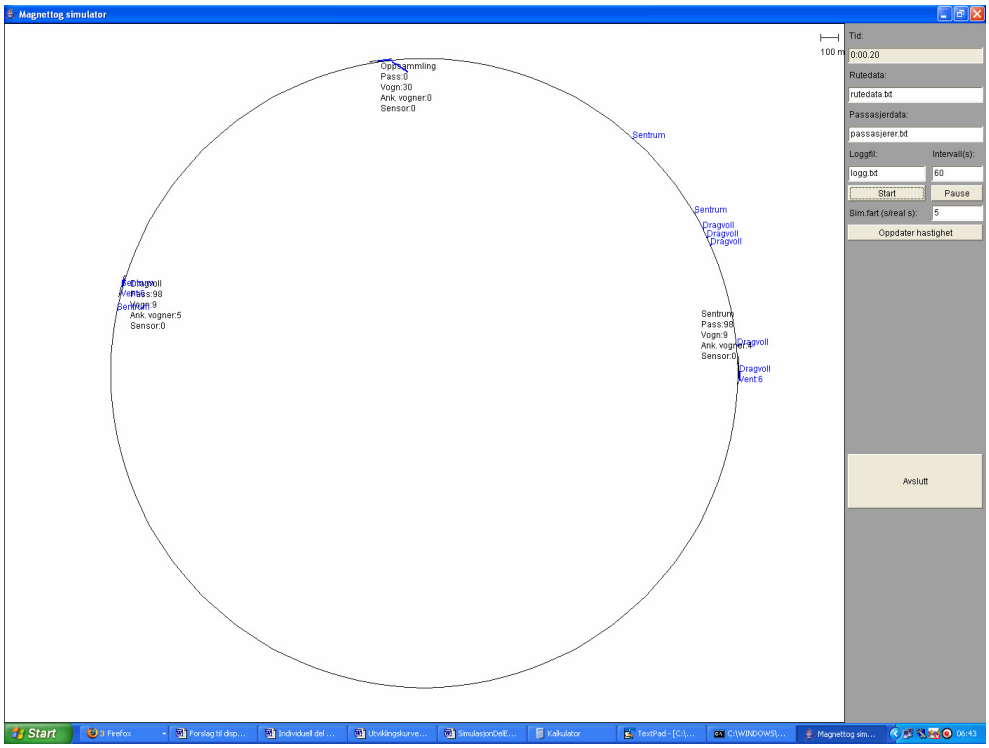
Vi har skrevet en enkel simulator i java som vi vil bruke i prosjektet. Her simulerer vi en taxibane som er bygd opp i en sløyfe, med stasjoner på gitte plasseringer på denne sløyfen.

7.1 Simulatoren

7.1.1 Inndata

I selve skjermbildet(Figur 7-1) har vi lagt inn en del parametere som angår selve kjøringen av simulatoren. Disse for eksempel en klokke som viser tiden under simuleringen, navn på inn- /utdatafiler(nærmer forklaring under). Hastigheten man skal kjøre simuleringen i(1=sanntid, 2=2* sanntid osv.).

I tillegg har vi to inndatafiler. Den ene er for å beskrive selve ruten. Her bestemmer man blant annet hvor lang ruten skal være, hvor mange stasjoner og hvor disse skal plasseres på ruten, farten vognene skal gå i, m.m.
I simulatoren har vi ikke tatt hensyn til minste svingradius eller eventuelle nedbremsninger underveis. Vi opererer med en gjennomsnittshastighet på vognene, slik at dette må beregnes utenfor simulatoren.
Den andre inndatafilen beskriver passasjerflyten. Her mater man inn hvor mange passasjerer som skal reise fra en stasjon og hvilken stasjon de skal reise til på et gitt tidspunkt. Ved hjelp av denne filen kan vi dermed bygge opp en passasjerstrøm.



Figur 7-1 Skjermbilde på simulatoren

7.1.2 Utdata

I tillegg til at simulatoren er grafisk har vi også laget en utfil, der man kan logge ønskede verdier. Se: Tabell 7-1 Eksempel på loggfil.

Tabellen viser klokkeslett, stasjonsnavn, antall passasjerer (Pass) på denne stasjonen, antall vogner (Vogn) på denne stasjonen og antall vogner som er på vei til denne stasjonen (Komm).

0:01.00			
Gløshaugen			
	Pass: 15	Vogn: 1	Komm: 0
Dragvoll			
	Pass: 16	Vogn: 8	Komm: 4
Sentrum			
	Pass: 9	Vogn: 3	Komm: 2
0:02.00			
Gløshaugen			
	Pass: 10	Vogn: 0	Komm: 0
Dragvoll			
	Pass: 11	Vogn: 9	Komm: 3
Sentrum			
	Pass: 4	Vogn: 3	Komm: 2

Tabell 7-1 Eksempel på loggfil

7.2 Simuleringer

Når det gjelder selve simuleringen har vi valgt å begrense simuleringen til en tenkt dags trafikk mellom Sentrum og Dragvoll. Dette fordi vi så oss nødt til å begrense simuleringen om vi skulle ha noen sjanse til å hente ut nyttige data på den tiden vi hadde til rådighet. Tallmaterialet vi fikk tak, og ville sammenligne med, begrenset seg til denne strekningen.

Vi har vært i kontakt med Team Trafikk som er busselskapet i Trondheim, og fått tak i gjennomsnittstall for passasjertall mellom sentrum og Dragvoll på en ukedag (Tabell 7-2 Tall fra Team Trafikk).

Kl	Fra sentrum	fra Dragvoll
0600-1200	1558	1307
1201-1600	1209	1445
1601-0005	1109	1199
Sum	3876	3951

Tabell 7-2 Tall fra Team Trafikk gjennomsnittlig antall passasjerer

Det vi ved hjelp av denne simuleringen vil prøve å finne ut er om en slik taxibane har kapasitet til å erstatte bussene på denne strekningen.

Det første vi måtte ta hensyn til før vi kunne sette i gang med simuleringene var hvor lang strekning vognene ville bruke på akselerasjon og nedbremsing, siden all akselerasjon og nedbremsing må skje på egne spor som går parallelt med hovedsporet i sammenheng med stasjonene. Dette fordi man må holde makshastighet på hovedsporet til en hver tid. I SkyTran prosjeket [16] har de forklart at mennesker ikke føler noe ubehag når de blir utsatt for krefter på en halv g. Så vi har tatt utgangspunkt i krefter på en halv g når vi har regnet ut bremse/akselerasjons lengden. Vi har brukt formelen i Figur 7-2 når vi har regnet ut disse lengdene.

Sammenhengen mellom akselerasjon og strekning er gitt av:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} \qquad (1)$$

Akselerasjonen er gitt lik $\frac{g}{2} = 4{,}9 m/s^2$

Vi ønsker å variere fart og se hvilken lengde som er nødvendig for akselerasjon og retardasjon. Har at: $s(0) = v(0) = 0$

Vi integrerer (1) og finner akselerasjonstida som funksjon av fart:

$$\int_{v(0)}^{v(t)} dv = \int_0^t 4{,}9 dt = v(t) = 4{,}9t \qquad (2)$$

Vi integrerer en gang til og finner sammenhengen mellom tid og strekning:

$$\int_0^t v(t)dt = \int_{s(0)}^{s(t)} ds = \int_0^t 4{,}9 t dt = \frac{4{,}9}{2} t^2 = s \qquad (3)$$

Figur 7-2

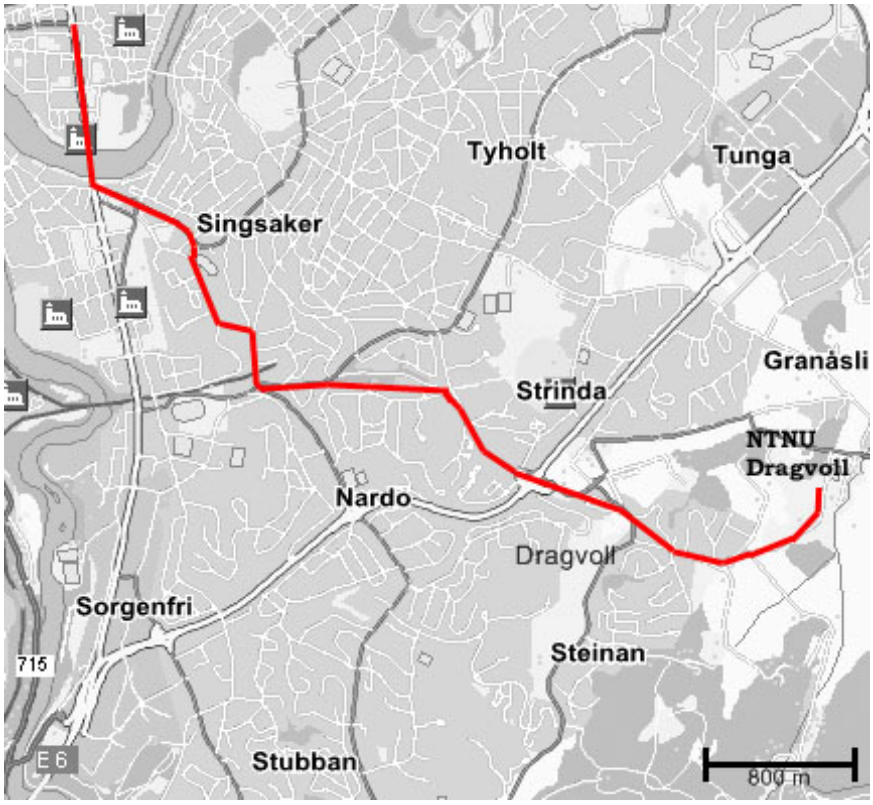
I tillegg har vi lagt til 20 meter for plass til av/påstigning og lagring av ventende vogner.

Fart		**Nedbremsing/Akselerasjon i meter**	**Total lengde på stasjonen i meter**
m/s	**km/t**		
10	**36**	10.2	40.4
15	**54**	23.0	66
20	**72**	40.8	101.6
25	**90**	63.8	147.6
30	**108**	91.8	203.6

Tabell 7-3 Retardasjon- og akselerasjonslengde og total lengde

Før vi satte i gang med denne simuleringen utførte vi en del testsimuleringer for å finne ut hvilke faktorer som var avgjørende for kapasiteten på en slik rute. Det vi fant ut var at opp til ett visst punkt var antall vogner og farten på vognene den viktigste faktoren. Men når man kom over dette punktet der man til enhver tid hadde tilgjengelige vogner på hver stasjon var den avgjørende faktoren tiden passasjerene brukte på å komme seg på vognene, altså hvor ofte man kunne sende ut vogner fra hver stasjon. Når man hadde kommet til dette punktet var det med andre ord ingen vits i å øke antall vogner eller farten på vognene.

Vi har tegnet en mulig rute mellom sentrum og Dragvoll på et kart, der ruten følger den samme veien i begge retninger, og målt hvor lang ruten blir.
(Figur 7-3 Utsnitt Trondheim) Hele sløyfen vil få en lengde på ca 11km.



Figur 7-3 Utsnitt Trondheim

7.3 Resultater

Når vi har gjennomført simuleringene har vi antatt at passasjerene vil bruke gjennomsnittlig 10 sekunder på å komme seg av og på vognene og at bare en vogn kan påstiges av gangen. Med denne løkken som er 11km lang vil det gi et maksimum antall vogner som vist i Tabell 7-4. Med maksimalt antall vogner mener vi det antallet som skal til før systemet er mettet, at det ikke vil gi noen effekt å sette inn flere vogner.

Fart m/s	**km/h**	**Maks antall vogner**
10	**36**	110
15m/s	**54**	72
20m/s	**72**	55
25m/s	**90**	49
30m/s	**108**	42

Tabell 7-4 Maks antall vogner ved gitt hastighet

Vi har så undersøkt hvor mange vogner som maksimalt kan forlate en stasjon i timen, ved en gitt hastighet og ett gitt antall vogner. Se Tabell 7-5
Eksempel. Hvis man har 10 vogner som går i 20m/s (72km/h) vil man maksimalt kunne sende av gårde 63 vogner fra Sentrum til Dragvoll pr. time.

Antall Vogner / **Fart [m/s]**	**[km/h]**	**10**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**
15	**54**	46	138	184	230	276	323
20	**72**	63	180	244	301	360*	-
25	**90**	73	220	293	360*	-	-
30	**108**	85	257	343	360*		

Tabell 7-5 Maks kapasitet pr. stasjon pr. time

*Maksimalt kapasitet vil oppnås med lavere antall vogner. Se:Tabell 7-4 Maks antall vogner ved gitt hastighet

7.4 Konklusjon

Simuleringene våre viser at man vil trenge ganske mange vogner for at man skal kunne få maksimal utnyttelse av en slik løkke. En annen ting vi har funnet ut er at hvis farten blir stor vil stasjonene bli veldig lange. Se: Tabell 7-3. Dette taler for at man må finne et optimalt forhold mellom antall vogner og hastigheten på vognene (lengden på stasjonene).

Hvis man til enhver tid har tilgjengelige vogner vil maksimalt 360 vogner kunne forlate stasjonen hver time. Med to plasser i hver vogn vil det si at man maksimalt kan frakte 720 personer fra Sentrum til Dragvoll og motsatt pr. time. Men litt av poenget med denne typen taxibane er jo at man skal kunne slippe å dele vogn med noen man ikke kjenner. I følge en reisevaneundersøkelse[4] er det gjennomsnittlig 1,2 personer i hver bil som kjører i byene, det samme tallet har SkyTran [16] brukt i sine estimater. Med 1,2 personer i hver vogn vil man maksimalt kunne frakte 432 personer fra en stasjon pr time. Det vil i utgangspunktet si at vi kunne greid å frakte det antallet som bussene i dag gjør med ganske god margin hvis antall passasjerer fordeler seg ca jevnt over de tidsperiodene vi har fått.(Se: Tabell 7-2 Tall fra Team Trafikk) Man vil også ha en viss mulighet til å håndtere topper i antall reisende. I dag går bussen på det meste 6 avganger[35] i timen på den strekningen vi har simulert taxibanen. Hver buss på denne strekningen har maksimalt plass til 70 personer[37]. Dvs. at bussen maksimalt kan frakte 420 personer i timen. Dermed ser vi at et slikt taxibane system med full kapasitet vil ha en større kapasitet selv med et passasjerantall på 1,2 pr. vogn. Hvis man ser på reisetiden bruker bussen i beste fall 18 minutter fra sentrum til Dragvoll [35]. Med et slikt taxibane system vil man for eksempel bruke ca 5 minutter fra man går på vognen i sentrum, til man har kommet seg av vognen på Dragvoll hvis vognen går i 20m/s (72 km/t) og ca 10 minutter hvis vognen går i 10m/s (36 km/t). I tillegg vil vi nevne en slik fordel som at denne banen vil være i drift hele døgnet.

Så hvis man ser et slikt system i forhold til passasjerene ville vi tro at taxibanen vil være et bedre alternativ enn dagens bussmuligheter. Taxibanesystemet har større kapasitet, det vil gi kortere reisetid og det vil helt klart gi en mer behagelig reise. (Alle som har prøvd å stå som sild i tønne sammen med 69 andre på Dragvoll bussen vil nok ikke karakterisere dagens bussvirkelighet som en spesielt behagelig reiseform)

Selv om vi har begrenset simuleringen en del i forhold til hva som ville vært en naturlig løsning hvis man skulle bygd en slik sløyfe, synes vi at vi har fått et godt inntrykk av hvilke faktorer som er viktige for effektiviteten til et slikt system. I videre simulering ville det vært naturlig ha flere stasjoner på denne sløyfen, men siden vognene reiser ut fra stasjonen med såpass stort mellomrom vil man kunne sende ut mange vogner inn i mellom uten at det ville gitt noe utslag på de hovedlinjene vi har fått ut av simuleringene.

8 Hva skal til for å få det realisert?

Et vanlig spørsmål som dukker opp er: Hvis dette konseptet er så fantastisk, hvorfor har det da ikke blitt realisert enda? Det finnes mange mulige svar på dette spørsmålet.

”siden det ikke finnes, trenger vi det ikke”

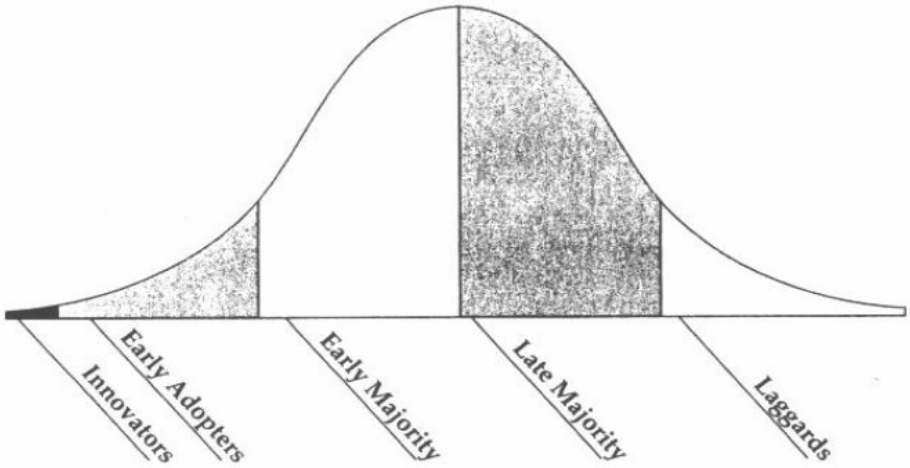
8.1 Catch 22

”Catch 22” er et prinsipp som innebærer at brukere bare etterspør løsninger som industrien allerede produserer, og industrien produserer bare løsninger som brukere etterspør [15]. Dermed skjer det ingen nyutvikling, men kun polering på gamle løsninger (jernbane, trikk). Noen må skjære gjennom og tørre å satse. Hva med Trondheims intensjoner om å være Norges teknologiske hovedstad? Man kan bruke anledningen til pilotprosjekt for å videreutvikle norsk teknologi istedenfor å kjøpe fra utlandet. Dermed kan man med utgangspunkt i det teknologiske miljøet på NTNU skape et springbrett for norsk eksportrettet industriutvikling og skape nye arbeidsplasser.

Norge trenger bedre transport og arbeidsplasser i høyteknologi.
Taxibaneteknologien er moden for bruk og norsk industri står klar. [15]

8.2 Crossing the Chasm

Geoffrey Moore prøver i sin bok å forklare hvordan man får publikum til å akseptere en radikal eller ny teknologi [38].



Figur 8-1 Technology Adoption Life Cycle [38]

Innovatørene: De har en dyp interesse for teknologi. De viser for andre at produktet faktisk virker.

Tidlige tilsluttere: Mennesker som finner ny teknologi interessant. De stoler ikke på veletablerte referanser, men sin egen intuisjon og visjon.

Den tidlige majoritet: De ønsker å se veletablerte referanser før de selv ønsker å bruke produktet.

Den sene majoritet: De venter til produktet har blitt en etablert standard.

Sinkene: Disse menneskene vil ikke ha noe å gjøre med ny teknologi, av personlige eller økonomiske grunner.

8.3 Hvordan få aksept for ny teknologi

Tor Kjølberg har skrevet en artikkel der han prøver å gi en god forklaring på hvorfor forbrukerne aksepterer en helt ny teknologi [39]. Han sammenfatter det i fem enkle prinsipper. Vi skal her prøve å sette dette i sammenheng med vårt system.

Relativ fordel: Den handler om i hvor stor grad en ny teknologi oppfattes som bedre enn dens forgjenger. Dette er et grunnleggende konsept for aksept av en ny idé. Jo høyere oppfattelsen av den relative fordelen er, jo hurtigere blir en ny teknologi akseptert. Sammenlignet med buss vil taxibane gi større fleksibilitet i og med at man ikke har faste avganger, man slipper å stoppe og ta opp/slippe av passasjerer på veien og kan kjøre direkte fra start til ønsket endestasjon. Sammenlignet med bil vil brukeren slippe å ta hensyn til trafikkregler og kunne slappe av hele turen, unngå køer og problemer med å finne parkeringsplass.

Kompatibilitet: Den indikerer i hvor stor grad en ny teknologi oppfattes som riktig i forhold til eksisterende verdier, tidligere erfaring og behovet for en arvtaker. Jo mer kompatibelt det er, jo hurtigere blir en ny teknologi akseptert. Den har ofte vist seg å få dramatisk betydning for ny teknologis akseptgrad. De fleste er klar over at biler forurenser. Elektriske kjøretøy er et miljøvennlig alternativ. Dessuten høye ulykkestall i trafikken som alle ser verdien i å redusere.
Kompleksitet: Teknologi som oppfattes mer komplisert og vanskeligere å bruke, aksepteres langsommere enn noe som blir lett forstått og som er enkelt i bruk. Av denne grunn er enkel bruk en viktig egenskap for vellykket ny teknologi. Magnetisk sveving er ukjent for mange og det kan være vanskelig å forstå hvordan det fungerer i realiteten. Det vil være viktig med tilgang på lettfattelig informasjon og systemet må være enkelt å bruke.

Mulighet for å prøve: Er det mulig å eksperimentere med en ny teknologi over en periode? Hvis svaret er ja, er det mulig for brukerne å prøve den. Undersøkelser viser at det øker akseptgraden. Dette kan gjøres ved f.eks å gi brukerne gratisturer i starten. Hvis folk får prøve systemet og det virker optimalt kan de bli mer positivt innstilte til å ta i bruk teknologien.

Observerbarhet: Denne siste faktoren er det som gjør fordelene synlige. Hvis potensielle kunder ikke enkelt kan se resultatene, er det mindre sannsynlig at de hurtig aksepterer den nye teknologien. Det er derfor viktig at vi skaper fordeler

som er observerbare for kundene. Kan starte med å lage et testanlegg, f. eks mellom gløshaugen og dragvoll. Det er helt essensielt at det ikke skjer noen tidlige ulykker, det vil skremme folk fra å bruke systemet.

Vi kan se av det nevnte at det ikke nødvendigvis er den ingeniørmessig beste løsningen som vinner fram når to nye teknologier konkurrerer om å etablere seg. I denne sammenhengen har for eksempel Transrapid hatt en stor fordel i og med at de har vært først ute med en bane i kommersiell drift. Det er lett for menigmann å observere og det har (tilfeldigvis?) ikke vært noen ulykker til nå. Teknologene som benytter permanentmagneter og EDS som prinsipp, har oss bekjent ikke kommet lenger i den praktiske utprøvingen enn en 20 meters testbane med en liten kjelke og en strikk. Vil verden vente på at denne teknologien skal modne før man gjør noe med storbytrafikken? Vil Trondheim vente? Og hvilken løsning skal man velge? Dette henger sammen. Om man skal handle i dag er det ingen som kan levere en komplett taxibane med magnetisk sveving. SkyTran har en besnærende ide. Man kan godt begynne i dag. Men det vil ta lenger tid å ferdigstille en taxibane basert på magnetisk sveving, enn en som går på hjul. Dette er et dillemma man stadig vekk står ovenfor når man skal velge teknologi. Den er i stadig endring og forbedring og det kan i noen tilfeller lønne seg å vente og se. På den andre siden er det at noen begynner å bygge med på å gi verdifull erfaring og danne et viktig grunnlag for videre utvikling. Å kaste seg på en teknologi nå før den beste er moden, kan bidra til at feil teknologi vinner fram.

Trondheim har i årevis hatt et miljøproblem. E6 med tungtransport suser rett gjennom bykjernen. I vinterhalvåret er det mye svevestøv på grunn av bruk av piggdekk. Dessuten problemer med støy og rushtrafikk. Magnetiske svevevogner vil på alvor være med å sette Trondheim som miljøby på kartet. Indirekte tjener staten og samfunnet ved radikalt bedre trafikksikkerhet, bedre miljø- og helseegenskaper, samt avlastning av veisystemet i pressområder.

For å få dette realisert må man klare å bevise at dette konseptet er bedre enn de alternative transportsystemene som benyttes i dag. Fakta må legges frem angående økonomi, sikkerhet, brukervennlighet, kapasitet etc. Må overbevise både politikerne og mannen i gaten. De må få høre om konseptet og skjønne at det kan realiseres med dagens teknologi. Det må være en politisk vilje til å gjennomføre miljøvennlige tiltak. Kommunen må ha overskudd til å investere i et slikt prosjekt. Bunnskrapt kommunekasse kan være et problem. Dermed er det staten eller private investorer som må komme inn og finansiere prosjektet.

9 Konklusjon

Daglig reises omtrent 550 000 turer i Trondheim. Halvparten av disse foretas som bilfører. Det er ingen store trafikkavviklingsproblemer, men det er ikke rom for særlig trafikkvekst i dagens veinett. Kollektive reisemåter er tungvint og benyttes bare til omtrent 10 % av de daglige turene som foretas i Trondheim hver dag. 9100 mennesker er utsatt for støynivåer over SFTs anbefalninger, det er til dels betydelige luftforurensninger og gjennomsnittlig 5 drepte i Trondheimstrafikken hvert år.

Taxibane er et smart alternativ til dagens kollektivtransport. Det representerer en ny måte å tenke på som kan revolusjonere trafikkbildet. Små pakker er best, som på internett. Taxibane består av mange små, automatisk styrte vogner som kjører ved behov og ikke følger oppsatte rutetider. Alle de alternative konseptene er elektrisk drevne, energieffektive og miljøvennlige. SkyTran er et interessant konsept som benytter magnetisk sveving. Magnetisk sveving innebærer en noe dyrere infrastruktur, men også mindre vedlikehold som følge av at kjøretøyet ikke er i fysisk kontakt med banen under fart.

Det er viktig at en taxibane i Trondheim er bruker- og miljøvennlig, energieffektiv, lett tilgjengelig for publikum, ikke visuelt forurensende, driftsikker og rimelig. Tall fra SkyTran og andre taxibanekonsepter viser at dette er mulig med dagens teknologi.

Ved innføring av nye teknologier er det flere kriterier som har betydning for om teknologien blir akseptert av brukere. Disse handler om relativ fordel, kompatibilitet, mulighet for å prøve, observerbarhet og kompleksitet. I den fasen Trondheim er i nå, vil det være viktig med informasjon om konseptet og bevisstgjøring om hvilke problemer som er knyttet til dagens trafikksituasjon. Senere vil det være aktuelt å bygge en testbane eller en prøvestrekning slik at folk kan se og prøve.

Å satse på taxibane i Trondheim vil kreve velvilje fra kommunen slik at man får disponere de nødvendige arealer til infrastrukturen. Det krever initiativ fra et teknologisk miljø som kan drive prosjektet framover. Det vil sette Trondheim ettertrykkelig på kartet som en miljøvennlig by med høy kompetanse innen avansert teknologi.

10 Ordliste

10.1 Utrykk

Taxibane – PRT på norsk

PRT – Personal Rapid Transit

LIM – Lineær induksjonsmotor

LSM – Lineær synkronmotor

Magnetisk svevetog – Også kalt Maglev. Tog der det ikke er fysisk kontakt mellom skinnegang og kjøretøy.

EMS – ElektroMagnetisk sveveSystem, magnetisk tiltrekning

EDS - ElektroDynamisk sveveSystem, magnetisk frastøting

Lenz lov – ethvert materiale vil motsette seg endringen av magnetfelt gjennom det.

kortstator asynkron lineær motor – LIM med kort stator

langstator synkron lineær motor – LSM med lang stator

Neodymborjernmagneter – kraftig permanentmagnet

Halbachrekke – en ordning av permanentmagneter i en rekke, oppkalt etter oppfinneren Klaus Halbach

Induksjonsmotor – Motor som benytter vekselspenning. Ikke feltstrøm.

Separasjon – der strømningen ”slipper” legemet og det dannes vaker

Motstandskrefter – (Drag Force, eller Drag-krefter) Krefter som bremser for fremdrift, her som luftmotstand.

Motstandskoeffisient (Drag coefficient) – En konstant som er avhengig av form og overflate og på legemet. En viktig faktor i luftmotstanden.

Turbulent strømning – ustabil og uforutsigbar strømning med virveldannelser

Laminær strømning – jevn, glatt strømning

Grensesjikt – tynt fluid-sjikt langs veggen på et legeme.

regenerativ bremsing – reduksjon av kinetisk energi slik at denne konverteres til elektrisk energi

eksergi – ”energikvalitet” teoretisk maksimal andel arbeid som kan fåes ut av en energimengde

Carnotvirkningsgraden - maksimal andel arbeid som kan fåes ut av en energimengde i en ideell varmekraftmaskin.

GPS – Global Positioning System (det vet man vel kanskje hva er..)

RFID – Radio Frequency Identification

Octopus cards – elektronisk billettsystem i bruk i Hong Kong.

t:kort - elektronisk billettsystem testes av Team Trafikk.

Catch 22 – brukerne etterspør bare det som produseres og det produseres bare det som etterspørres.

Crossing the Chasm – artikkel av Geoffrey Moore om innføring av nye teknologier.

10.2 Selskaper

Sportaxi – Norsk selskap avsluttet i 2000, senere overtatt av InnoTrans.

DEMAG - Samarbeidet om Cabinentaxi

Messerschmidt-Bölkow- Blohm - Samarbeidet om Cabinentaxi

Engins-MATRA – bygget Aramis-prøvebane

Raytheon Inc. – samarbeidet med Taxi2000 om PRT2000 og senere om SkyWeb

Taxi2000 – samarbeidet med Raytheon Inc om PRT2000, senere med Cabinentaxi, deretter Stone & Webster engineering og Raytheon Company om SkyWeb

Advanced Transport System Ltd - vidreførte ULTra i samarbeid med Arup og AMEC

Arup - konsulentselskap, videreførte ULTra i samarbeid med ATS og AMEC

AMEC – viderførte ULTra i samarbeid med ATS og Arup

Stone & Webster Engineering – samarbeidet med taxi 2000 om SkyWeb

Raytheon Company – samarbeidet med taxi2000 om SkyWeb

InnoTrans – norsk selskap. Overtok sportaxi sammen med Taxi2000

10.3 Prosjekter og konsepter

CVS – Computer-controlled Vehicle System. Japansk

Cabinentaxi – Tysk taxibaneprosjekt med testbane

Aramis – Fransk taxibaneprosjekt

Morgantown – taxibanesystem og sted med samme navn. Er i bruk

PRT2000 - Amerikansk taxibanesystem

ULTra – Britisk taxibanesystem

SkyWeb Express – taxibanesystem utviklet av taxi 2000

Taxi21 – norsk taxibanesystem fra sportaxi

SkyTran – Amerikansk konsept som samarbeider med Inductrack om teknologien.

Transrapid International – Tysk samarbeidsprosjekt mellom Siemens og Thyssenkrupp.

Inductrack – amerikansk sveveteknologi som benytter EDS og permanentmagneter.

11 Kildereferanser

[1] **Nasjonal Transportplan 2006- 15. Storbyomtale- Trondheim**
http://odin.dep.no/sd/norsk/tema/transport/bn.html

[2] **Miljøhåndboka**
http://miljo.toi.no

[3] **Muntlig samtale med Eirin Ryeng ved institutt for samferdsel**

[4] **Tretvik, Terje, Reisevaner i Trondheimsregionen 2001 – Sintef**

[5] **Persontransport i Norge, TØI-rapport 326/1996**

[6] **Marginale kostnader ved transportvirksomhet, TØI-rapport 464/1999**

[7] **Gang- og sykkelvegnett i norske byer, TØI-rapport**

[8] **Luftkvalitet.info**
http://www.luftkvalitet.info

[9] **"Svevestøv-eksplosjon kan gi hjerteinfarkt", Adresseavisen**
http://www.adressa.no/nyheter/article491242.ece

[10] **Nordre avlastningsvei**
www.nordreavlastningsveg.no

[11] **SkyWeb Express**
http://www.skywebexpress.com/

[12] **Taxi21**
http://www.taxi21.com/

[13] **Innovative Transportation Technologies - 9th Year**
http://faculty.washington.edu/~jbs/itrans/

[14] **ULTra – Urban Light Transport**
http://www.atsltd.co.uk/

[15] **SporTaxi**
http://innotrans.net/sportaxi/

[16] **SkyTran**
http://www.skytran.net/

[17] **Malewicki, D.J. Data Entry-March 31, 2052: A retrospective of solid-state transportation systems.**
(AeroVisions Inc., Newport Beach, CA, USA)
Proceedings of the IEEE, v 87, n 4, April 1999

[18] **Transrapid International**
http://www.transrapid.de

[19] **Introduction to Maglev Monorail**
http://www.monorails.org/tMspages/TPMagIntro.html

[20] **Overview of Maglev R&D**
http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_frame_E.html

[21] **A New Approach For Magnetically Levitating Trains – and Rockets**
http://www.llnl.gov/str/Post.html

[22] **History of Magnetism**
http://www.aacg.bham.ac.uk/magnetic_materials/history.htm

[23] **Some Results from this EDS Maglev Ph.D. Thesis**
http://members.aol.com/marctt/Research/excerpts.htm

[24] **Hong Kong Octopus cards**
http://www.octopuscards.com/eng/whatis/index.jsp

[25] **t:kort**
http://www.tkort.no/undersider/hoved.html

[26] **"Forsinkelser for millioner" (10.1.2005) – Adresseavisen**
http://www.adressa.no/nyheter/trondheim/article390134.ece

[27] **Norges Handikapforbund, "NHF mener (om kollektivtransport)** http://www.nhf.no/index.asp?id=37639

[28] **Notat om Taxibane mellom Skøyen – Lysaker – Fornebu - Fakta og argumenter for AkerKværner**
http://innotrans.daastol.com/docs/021014AKargumenter.pdf

[29] **Budstikka.no, "600 mill. til Fornebubane forsvant"**
http://www.budstikka.no/redaksjonelt/nyheter/article.jhtml?articleID=180975

[30] **Fysiske data for drivstoffer**
http://apps.didac.no/drivstoff/drivstoff/fysisk.htm

[31] **Telefonsamtale med Torild M. Amundsen i Mantena AS, 25. April 2005**

[32] **Shell**
www.shell.com dato: 23.april 2005

[33] **Trondheim Energiverk**
www.tev.no dato 23.april 2005

[34] **Nasjonal vegdatabank**
www.visveg.no

[35] **Team Trafikk**
www.team-trafikk.no

[36] **Telefonsamtale med Leif Hovheim i TEV Nett, 25.April 2005**

[37] **E-post fra Olaf Misfjord i Planavdelingen til Team Trafikk**

[38] **Moore, Geoffrey. Crossing the Chasm. New York, 1999, HarperBusiness**

[39] **Hvordan få aksept for ny teknologi, Tor Kjølberg**
http://www.selgmer.no/go.cfm?id=12391&type=article&lang=nob&path=0i1211

[40] **White, Frank M., Fluid Mechanics, fourth edition, Mc Graw-hill 1999**

[41] **F1 Technical - Aerodynamics**
http://www.f1technical.net/article10.html

[42] **"Blinde kan ikke bruke nye billettautomater", Aftenposten**
http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/oslo/article1025636.ece

[43] **Citizens for Personal Rapid Transit**
http://www.cprt.org/

12 Opphavsrett

Alle bilder som er hentet fra SkyTran, SkyWeb Express og andre nettsteder er beskyttet av regler om opphavsrett. For mer info, følg linkene bildene refererer til.

Copyright©1999-2005, Douglas J. Malewicki, AeroVisions, Inc.

Copyright©2005, Taxi 2000 Corporation