

Med bærekraft i tankene¹

Alternative drivmidler i transportsektoren – Teknologiske, energi- og miljømessige vurderinger

Tittelens “tanker” kan forstås på to måter. Det er en todeling som gir en antydning om de hovedspørsmålene som blir belyst i notatet. Blir det noe av bærekraft *på* tankene? Og i så fall hvor bærekraftig er det egentlig? Eller forblir det bare med bærekraft *i* tankene?

Hovedfokus er på de alternative drivmidlene *naturgass* og *hydrogen*. De sammenliknes med de konvensjonelle *bensin* og *diesel*. Det reiser et viktig spørsmål om hvorledes slike sammenlikninger skal gjøres. Det presenteres her resultater og vurderinger basert på såkalte livsløps- eller energikjede-analyser, der teknologiske, energi- og miljømessige aspekter analyseres på alle ledd fra der energikilden produseres fram til der den omdannes til mekanisk energi i framdriften av transportmidlenes hjul. Den nyere internasjonale termen for slike analyser er *Well to Wheel*, fra brønn til hjul. Det er en term vi anvender under forkortelsen *WTW-analyser*.

I tillegg til naturgass og hydrogen belyses noen sider ved alternativene elektrisitet og biologiske drivmidler som bioetanol, biometanol og biodiesel. Det er i første rekke knyttet til at EU Kommisjonen i november 2001 har fremmet et forslag om en felles strategi for alternative drivmidler i transport; en strategi som omfatter to nye direktivforslag og der begge er knyttet til å fremme anvendelsen av biologiske drivmidler². I denne felles strategien er det også gitt perspektiver på utviklingen av naturgass og hydrogen. Men det henger også sammen med at biologiske drivmidler – særlig biometanol – i seg selv er aktuelle energibærere som kilder til hydrogen. De, i første rekke bioetanol og biodiesel, er dessuten blant de alternativene som allerede har en ganske omfattende bruk internasjonalt.

Mellom “oversell” og “overkill”

Vi har bak oss en ca 30-årig historie med lansering, utvikling og delvis utprøving av alternative drivmidler i transportsektoren. Det har så langt gitt lite bærekraft på tankene. Batterielektriske biler med elektrisitet som drivmiddel er blant de alternativer som det har vært knyttet stor optimisme til. Så kort tilbake i tid som 2-3 år var optimismen fortsatt stor. I dag er det mer pessimismen som råder. EU Kommisjonen oppsummerer det på denne måten:

¹ Tittelen er oversatt og lånt fra den svenske rapporten “Med Hållbarhet i Tankarna. Introduktion av biodrivmedel” (Ahlvik og Brandberg 2001).

² COM(2001) 547 final. “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on alternative fuels for road transportation and on a set of measures to promote the use of biofuels”. Brussel 7.11.2001.

“Elektriske biler har vært kommersielt tilgjengelige i flere år, men har ikke evnet å tiltrekke seg tilstrekkelig interesse blant forbrukerne. Størrelsen og kostnaden på batteriene, relativt til den energimengden de bærer, synes sterkt begrensende for å kunne produsere en bil med tilstrekkelig størrelse, ytelse og rekkevidde mellom hver gjenladning til en pris som kjøpere er villig til å gi. I tillegg er den langsomme gjenladningen av batteriene, normalt over natten, betraktet som en bakdel av potensielle kjøpere.

Forventninger om gjennombrudd i utviklingen av batteriteknologi, noe som er nødvendig for å få den elektriske bilen til å appellere til større kundesegmenter, synes å være redusert de siste årene. Elektriske biler kan fortsatt ha et nisjemarked for transportformål over korte avstander, hvor ingen støy og ingen utslipp er vesentlig. Med mindre et gjennombrudd i batteriteknologi forandrer dette scenariet, ser Kommisjonen små muligheter i å opprettholde den elektriske bilen på listen over kandidater for alternative kjøretøy som kan gi markeder i store volum.”

(EU COM (2001) 547 final, s.11, vår oversettelse).

Den batterielektriske bilen og elektrisitet som drivmiddel finnes da heller ikke på EU Kommisjonen sin liste over hovedalternativer i den framtidige strategien. De tre hovedalternativene er *biologiske drivmidler (biobrensler)*, *naturgass* og *hydrogen*.

I ettertid kan vi se at den batterielektriske bilen – inkludert utviklingen i den grunnleggende batteriteknologien – har vært gjenstand for det som kan betegnes *oversell*. Det skjer når alternativer lanseres med overkommunisering av teknologiske muligheter, og underkommunisering av teknologiske, økonomiske og samfunnsmessige barrierer. Ikke minst er tidsaspektet en viktig side ved oversell; det knyttes forventninger til teknologisk gjennombrudd og modenhet innenfor en tidsramme som er lite realistisk. Det er ikke noe som er spesielt for alternativ energi. Moderne teknologihistorie kan vise til det samme på mange områder der det skjer en systematisk og storstilt utvikling av teknologier som representerer grunnleggende alternativer til etablerte teknologiformer. Bio- og genteknologien spesielt har de siste par ti-årene vært et slikt felt.

Vi kan også snakke om *energi- og miljømessig oversell*. Det skjer når man overkommuniserer energi- og miljømessige fordeler på ett ledd – for eksempel i selve bilen – og tilsvarende underkommuniserer de bakdelene det kan være på andre ledd, for eksempel knyttet til produksjonen av energikilden og omdanningen til drivmidler. Både den hydrogentilknyttete brenselcelle-elektriske bilen – og selve brenselcelle-teknologien – har vært, og er gjenstand for de samme formene for oversell som den batterielektriske bilen.

Nå kan det også være en fare for *overkill*. Også her er det mange eksempler fra vår moderne teknologihistorie. Det gjelder blant annet på det feltet som ble nevnt ovenfor, bioteknologien. Overkill skjer når teknologiske muligheter underkommuniseres, og teknologiske, økonomiske og samfunnsmessige barrierer overkommuniseres. Tilsvarende når de energi- og miljømessige barrierene på ett ledd overfokuseres, uten å se alle leddene i sammenheng.

Det er viktig å søke en balanse mellom oversell og overkill. WTW-analyser er et analyseverktøy som egner seg i en slik sammenheng. Ved siden av å fokusere på teknologiske, energi- og miljømessige aspekter på hvert enkelt ledd i den komplette energikjeden, unngår man både over- og underkommunisering av fordeler og bakdelene ved at alle leddene også sees i sammenheng. I tillegg er WTW-analyser en egnet inngang til systematiske analyser og vurderinger av økonomiske og samfunnsmessige barrierer, såkalte ikke-teknologiske barrierer. Slike analyser er en nødvendig forutsetning for å klarlegge hvilke former for teknologiutvikling, politikk og virkemidler som kreves for å overvinne barrierene, dvs for å klarlegge vilkårene for en bredere samfunnsmessig implementeringprosess av alternativene. Denne typen systemstudier, for hydrogenbasert brenselcelleteknologi i transportsektoren og med basis i WTW-analyser, blir nå gjennomført

av Vestlandsforskning i et 5-årig strategisk instituttprogram for Norges forskningsråd. Det er et instituttprogram som kombinerer teknologisk og samfunnsvitenskaplig disiplinkunnskap.

EU Kommisjonen sin strategi

Som omtalt ovenfor fremmet EU Kommisjonen i november 2001 sitt strategidokument for en større utvikling av alternative drivmidler i transportsektoren (COM (2001) 547 final).

Dokumentet inkluderer to direktivforslag, hvor det ene spesielt er rettet inn mot å fremme bruken av biologiske drivmidler³. Ifølge strategidokumentet er det tre hovedalternativer som i løpet av de neste 20 årene har et tilstrekkelig stort volumpotensiale til at de har interesse i en bredere sammenheng. Med tilstrekkelig stort volumpotensiale menes at de hver kan dekke mer enn 5% av det totale forbruket av drivmidler i transportsektoren. Som nevnt er de tre:

- biobrensler
- naturgass
- hydrogen/brenselceller

De prioriteres for den videre utviklingen av tiltak og virkemidler. Hvis dette blir fulgt opp vil det kunne ha stor betydning for den videre teknologiutviklingen og –implementeringen. Det henger sammen med at EU representerer et svært stort marked for drivmidler til transport, men også at den tyngden EU representerer som institusjonelt system, sammen med størrelsen på drivmiddelmarkedet, vil kunne legge avgjørende føringer for hvorledes både de internasjonale bilprodusentene og olje-/energiselskapene prioriterer i sin teknologiutvikling. Her kan vi se en parallell til hele 90-tallets utvikling av lovregulerte utslippskrav for lette og tunge vegtransportmidler. Den stadige skjerpingen av EU sine felles utslippskrav (en utvikling fra EURO I til EURO V) har hatt en avgjørende innflytelse på teknologiutviklingen i bilindustrien. Ikke minst har det vært viktig at det er blitt satt bestemte tall for hvilke utslippskrav som vil gjelde i framtiden, og bestemte årstall for når slike nye utslippskrav vil bli iverksatt.

Det som strategidokumentet omtaler som et *optimistisk utviklingsscenario* for den framtidige anvendelsen av de tre hovedalternativene er gjengitt i *tabell 1* nedenfor.

Tabell 1

EU Kommisjonen sitt optimistiske utviklingsscenario for anvendelsen av alternative drivmidler innenfor EU. Tall i % av totalt forbruk av drivmidler til transport

År	Biobrensler	Naturgass	Hydrogen	Totalt
2005	2			2
2010	6	2		8
2015	(7)	5	2	14
2020	(8)	10	5	(23)

Fra: EU COM (2001) 547 final, s. 13

³ Proposal for a "Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of biofuels for transport".

I lys av den optimismen som for tiden knyttes til hydrogentilknyttet brenselcelle-teknologi ser vi at EU Kommisjonen ikke forventer noen vesentlig implementering av dette alternativet før etter 2015. Det er videre som understreket et *optimistisk* scenario.

Som hovedalternativer er det viktige forskjeller mellom biobrensler og naturgass på den ene siden og hydrogen/brenselceller på den andre. De viktigste biobrenslene – biometanol, bioetanol og biodiesel – kan finne en bred anvendelse innenfor dagens kjøretøyteknologier. I Brasil alene finnes det i dag ca 3 millioner lette kjøretøy med bioetanol som drivmiddel. I tillegg skjer det en omfattende lavinnblanding av bioetanol i bensin. Også naturgass er et velutviklet alternativ innenfor dagens hovedtyper av kjøretøyteknologier. Globalt er det snakk om over 2 millioner lette og tunge kjøretøy i drift. Italia har alene 300 000 forsynt av et nettverk på 300 fyllestasjoner. Når det gjelder selve drivmidlene er de allerede tilgjengelige i tilfellet naturgass, og det finnes en tilgjengelig infrastruktur for distribusjon i tilfellet biobrensler (og delvis naturgass).

For hydrogen/brenselcelle-teknologi er utfordringene av en helt annen karakter. Den grunnleggende kjøretøyteknologien er *ikke* ferdig utviklet. Drivmidlet er *ikke* tilgjengelig og infrastrukturen for distribusjon av drivmidlet er *ikke*-eksisterende. Det representerer i utgangspunktet en sterkere barriere enn det som har vært tilfelle for batterielektriske biler. Her må det likevel tas et forbehold når det gjelder biometanol (evt. naturgassbasert metanol) som hydrogenkilde til brenselcellene. I dette tilfellet vil det være en tilgjengelig infrastruktur for distribusjon av drivmidlet. Men i tillegg er det en vesentlig usikkerhet når det gjelder økonomiske aspekter på alle leddene, og av en langt mer grunnleggende karakter enn for de to andre hovedalternativene. Det understreker betydningen av systematiske analyser av både teknologiske, økonomiske og samfunnsmessige barrierer for at en implementering i samsvar med EU Kommisjonen sitt optimistiske alternativ skal kunne bli realisert.

Strategidokumentet etablerer de tallene som er gitt for *biobrensler i tabell 1* – 2% andel i 2005 og 6% i 2010 – som måltall for den videre utviklingen. I en første fase blir det foreslått å kreve at en økende andel av all bensin og diesel som selges i medlemslandene skal være biobrensler. I den neste fasen blir det foreslått å fastsette krav om at en viss prosentandel biobrensel skal være innblandet i all bensin og diesel som omsettes. I et eget direktivforslag etableres det et felles grunnlag for at medlemslandene kan bruke et differensiert avgiftssystem for å fremme en slik bredere anvendelse av biobrenslene⁴. I motsetning til det som gjelder for alternativene naturgass og hydrogen framholder EU Kommisjonen at det ikke er noen objektive grunner for ytterligere å forsinke implementeringen av en bredere anvendelse av biobrensler; alle vesentlige implikasjoner av en gradvis introduksjon av biobrensler er velkjente (COM (2001) 547 final, s. 13).

Hvis måltallene for biobrensler skal bli realisert, kreves det omfattende investeringer for å øke produksjonen av brenslene. For hele EU antydes det en 5-dobling av nåværende produksjonskapasitet bare fram til 2005, dvs i løpet av 2-3 år. Sverige er et av de landene som både har en relativt stor anvendelse av biobrensler, et landsdekkende nett av fyllestasjoner (bioetanol) og en egen produksjon. I en strategiplan for en bredere introduksjon av biobrensler blir det likevel understreket av landet står overfor store investeringsbehov for å kunne oppfylle EU Kommisjonen sine måltall⁵. For Norges del vil det kreves en langt mer omfattende innsats for å kunne oppfylle måltallene.

⁴ Dette er det andre av de to direktivforslagene som er inkludert i EU Kommisjonen sitt strategidokument.

⁵ Ahlvik, P. og Brandberg, Å (2002): *Med Hållbarhet i Tankarna. Introduktion av biodrivmedel*. Borlänge: Vägverket.

Well – to – Wheel (WTW-analyse)

Vi skal videre i notatet presentere resultatene fra WTW-analyser av 15 ulike energikjeder. Hovedfokus er på sammenlikningen mellom de konvensjonelle råoljebaserte energikjedene (bensin og diesel) og de to hovedalternativene naturgass og hydrogen. I tillegg er det lagt inn en kjede med elektrisitet produsert fra vannkraft koplet til batterielektriske kjøretøy. En kjede for biodrivmidler er også inkludert. Det er kjeden biomasse-biometanol-hydrogen/brenselcelle. Metanol i en slik sammenheng kan alternativt også produseres fra naturgass. Det er ikke tatt med her. De mer klassiske kjedene for biodrivmidler knyttet til etablert otto- og dieselteknologi er ikke med i analysene. Det finnes likevel et omfattende datamateriale som gir grunnlag for å inkludere dem i sammenlikningen på et senere tidspunkt.

Hver kjede er knyttet til en av fire grunnkategorier drivsystemer i selve kjøretøyene. De fire kategoriene er:

- otto motor (dagens bensinmotor)
- diesel motor
- batterielektrisk motor
- brenselcelle-elektrisk motor

I tillegg brukes begrepet *hybrid*. Det uttrykker at to av grunnkategoriene koples sammen i et kjøretøy. Alle de aktuelle formene for hybridisering innebærer at et batterielektrisk system knyttes til en av de tre andre kategoriene. Således kan vi snakke om otto- eller bensinhybrid, dieselhybrid og brenselcelle-hybrid. Det foregår en betydelig innsats på dette feltet innenfor bilindustrien. *Hybridiseringen* innebærer normalt øket systemeffektivitet i sammenlikning med de rene grunnkategoriene. Den ansees nødvendig for at en bil med et brenselcelle-elektrisk grunnsystem i det hele tatt skal kunne nærme seg det kjøremønstret som vi i dag knytter til personbilen. Det er samtidig viktig å understreke at den både øker kjøretøyenes kostnader og vekt. Men ettersom den samme utviklingen er på gang i de konvensjonelle bensin- og dieselbilene trenger ikke det innebære større relative bakdeler for de alternative teknologiene.

Spesifikasjonene av de 15 energikjedene er systematisert i *tabell 2* nedenfor.

Tabell 2

15 energikjeder for WTW-analyse

Nr.	Betegnelse	År	Energi-kilde	Driv-middel	Driv-system	Hybrid-isering	Kommentarer
1	KONVBENS	2000	Råolje	Bensin	Otto	Konvensjonell	BAT
2	KONVDIESEL	2000	Råolje	Diesel	Diesel	Konvensjonell	BAT
3	KONVBENS	2010	Råolje	Bensin	Otto	Konvensjonell	
4	HYBBENS	2010	Råolje	Bensin	Otto	Hybrid	
5	KONVDIESEL	2010	Råolje	Diesel	Diesel	Konvensjonell	
6	HYBDIESEL	2010	Råolje	Diesel	Diesel	Hybrid	
7	KONVCNG	2010	Naturgass	CNG	Otto	Konvensjonell	Trykksatt naturgass
8	HYBCNG	2010	Naturgass	CNG	Otto	Hybrid	Trykksatt naturgass

9	KONVLNG	2010	Naturgass	LNG	Otto	Konvensjonell	Flytende naturgass
10	HYBLNG	2010	Naturgass	LNG	Otto	Hybrid	Flytende naturgass
11a	FCHYBGH2-LAV	2010	Naturgass	GH2 Hydrogen	Brenselscelle- El.	Hybrid	Trykksatt hydrogen. Vanlig estimat for systemeffektivitet
11b	FCHHYBGH2-HØY	2010	Naturgass	GH2 Hydrogen	Brenselscelle- El.	Hybrid	Trykksatt hydrogen. Høyt estimat for systemeffektivitet
12	FCHYBLH2	2010	Naturgass	LH2 Hydrogen	Brenselscelle- El.	Hybrid	Flytende hydrogen
13	ELBATT	2010	Vannkraft	Elektrisitet	Batteri- El.	Elektrisk. Enkel	
14	FCHYBGH2	2010	Vannkraft	GH2 Hydrogen	Brenselscelle- El.	Hybrid	Trykksatt hydrogen. Fra elektrolyse
15	FCHYBMET	2010	Biomasse	Biometanol	Brenselscelle- El.	Hybrid	Skog som grunnlag for biomasse. Formatering til hydrogen i kjøretøyet.

BAT = Best Available Technology – beste tilgjengelige teknologi i år 2000

CNG = Compressed Natural Gas – Trykksatt naturgass

LNG = Liquefied Natural Gas – Flytende naturgass

GH2 = Gaseous Hydrogen – Trykksatt hydrogen

LH2 = Liquefied Hydrogen – Flytende hydrogen

En WTW-analyse kan inndeles i to hoveddeler:

- Well – to – Tank (WTT)
- Tank – to – Wheel (TTW)

Hver består av en rekke underledd eller delprosesser. Den samlede WTW = WTT + TTW. Denne todelingen understreker at det er vanlig å skille mellom de delprosessene som inngår før drivmidlet er kommet på kjøretøyet og de som inngår under omvandlingen av drivmidlet til mekanisk energi i selve kjøretøyet. Det understreker samtidig at det krever en kombinasjon av mange former for kunnskap, både teknologisk og mer grunnleggende naturvitenskaplig.

Våre WTW-analyser omfatter følgende *6 prosessledd*:

1. *Utvinning*. Utvinning/produksjon av energikilde
2. *Transport*. Transport av energikilde fra utvinnings-/produksjonssted til mottaksanlegg for produksjon av drivmidlet
3. *Produksjon*. Produksjon av drivmidlet
4. *Distribusjon*. Distribusjon av drivmiddel fra produksjonssted til lokale tankstasjoner
5. *Sluttprosessering/Tanking*. Eventuell sluttprosessering (reforming, komprimering, nedkjøling) av drivmiddel og tanking på kjøretøy
6. *Kjøretøy*. Omvandling av drivmidlet til mekanisk energi i kjøretøyet

Det innebærer at vi har funnet det mest hensiktsmessig å samle hele TTW-analysen i ett ledd. Likevel bygger det på analyser av en rekke underledd i kjøretøyenes drivsystemer. Som analysestrategi blir det anvendt en delprosess-tilnærming. Det vil si at det gjennomføres separate analyser for hvert av de seks prosessleddene. I disse analysene ligger det til grunn en rekke ulike metoder og data. Delvis er det snakk om empiriske driftsdata, og delvis er det data fra modellsimuleringer. Men det er også snakk om data som bygger på mer kvalitative teknologiske vurderinger og antakelser. Våre analyser bygger i det vesentlige på den systematiseringen som er gjort av slike ulike typer data i internasjonale studier og litteratur. Vi har dessuten supplert med data og informasjon som vi har innhentet gjennom samtaler og intervju med internasjonale nøkkel-informanter. På dette grunnlag har vi gjort våre egne estimater for hvert prosessledd.

WTW-analysens resultater

Figurene 1, 2 og 3 viser noen hovedresultater fra analysene. De viser *systemvirkningsgrad*, *energiforbruk* og *CO₂-utslipp* respektive. Det må understrekes at resultatene er foreløpige, og at de bare gjengis for hele WTW-analysen samlet og ikke for de enkelte prosessleddene. Alle figurene gjelder for en *personbil* med en blandet kjøresyklus (blanding av by- og landeveis-kjøring). Det forutsettes videre at bilen har normal rekkevidde og akselerasjonsevne tilsvarende dagens konvensjonelle bensin- og dieslbiler. Her er det likevel gjort et unntak for det batterielektriske alternativet (nr. 13). Det uttrykker at den batterielektriske bilen er en helt annen type bil. Hvis det forutsettes at den skal ha en rekkevidde og akselerasjonsevne som de andre, vil systemvirkningsgraden bli betydelig redusert og energiforbruket tilsvarende betydelig økt.

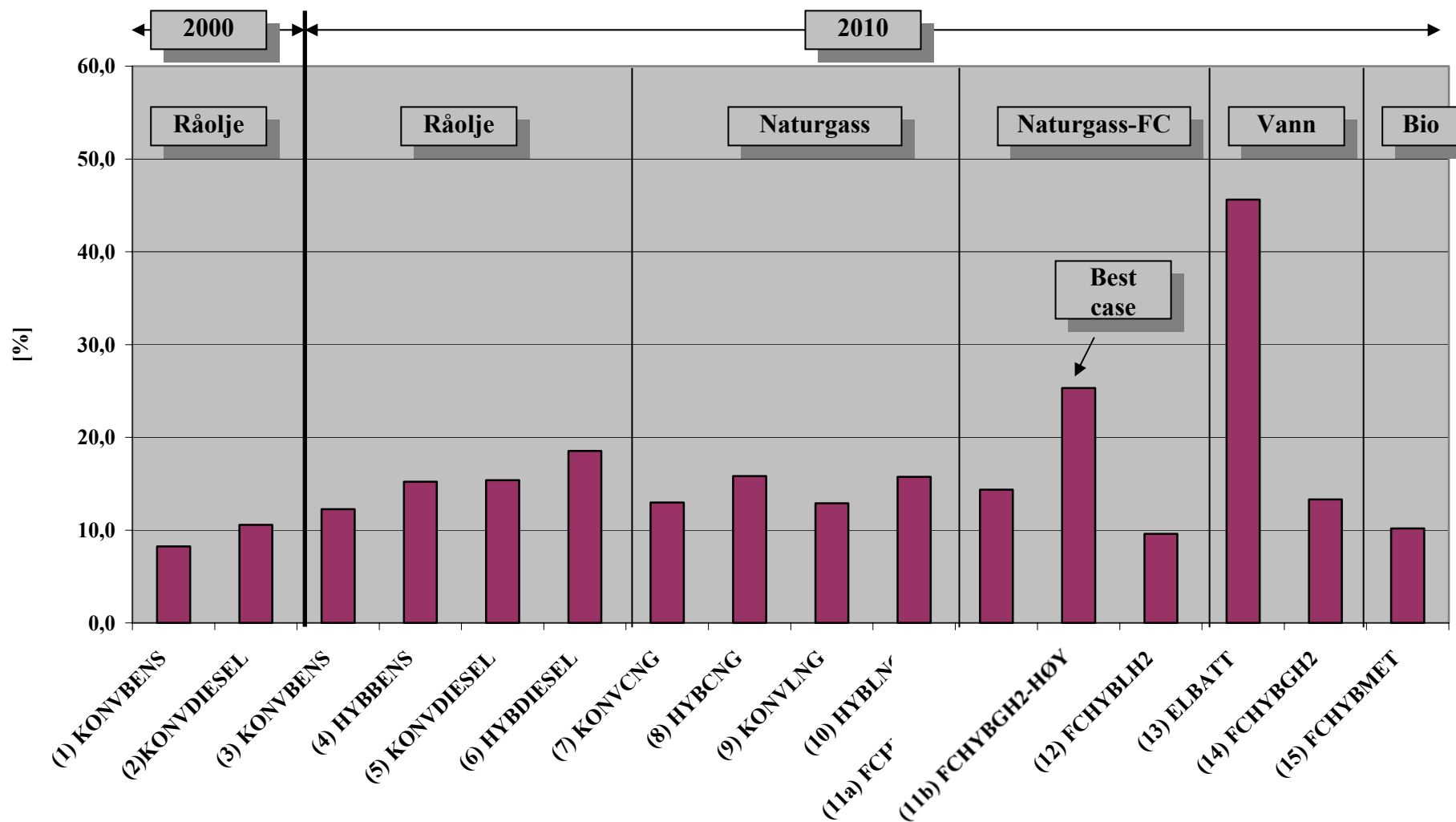
For energikjeden naturgass – hydrogen – brenselcelle/hybrid er det vist to alternativer, et høyt og et lavt. Det høye tilsvarer det som er framkommet i en større internasjonal studie. Vi betrakter dette som et optimistisk alternativ for brenselcellebilens utviklingsmuligheter, og betegner det som et “best case”. Det lave alternativet tilsvarer det som er mer vanlig i andre internasjonale studier.

Figur 1 viser resultatene for systemvirkningsgrader i %. Hvis vi her ser bort fra det høye alternativet, er det verdt å merke seg at brenselcelle-bilen har en virkningsgrad omtrent som de andre alternativene, og en del lavere enn den hybrid-diesel teknologien som vil kunne være tilgjengelig i 2010. Med naturgassbasert flytende hydrogen som drivmiddel framgår det at brenselcelle-bilen får en systemvirkningsgrad som så vidt er høyere enn dagens konvensjonelle bensinbiler. Det er heller ingen ting å vinne med naturgass som direkte drivmiddel i sammenlikning med videreutviklingen av bensin- og dieslbilene. *Figur 2* uttrykker de samme relative forskjellene mellom alternativene i samlet energiforbruk per kjørt kilometer (i MJ/km).

Figur 3 viser resultatene når det gjelder utslipp av CO₂ per kjørt kilometer (i gram/km). Det må understrekes at tallene bare omfatter utslipp av CO₂, og ikke de samlede utslippene av CO₂-ekvivalenter. For de alternativene som har naturgass som energikilde vil således effekten av utslipp av drivhusgassen metan komme i tillegg. Samtidig er det *ikke* forutsatt utskilling og deponering av CO₂ fra naturgass. Det framgår at alternativene med naturgass – trykksatt eller flytende – som drivmiddel ikke skiller seg vesentlig fra en videreutvikling av bensin- og dieslbiler. Det gjelder også når naturgass tjener som energikilde for en hydrogenbasert brenselcelle-bil. Hvis man i dette tilfelle går via flytende hydrogen, vil utslippet av CO₂ være blant de høyeste av alle alternativer. Foruten alternativene med vannkraft som energikilde, er det bare en brenselcelle-bil med biometanol som drivmiddel som gir ubetydelige utslipp av CO₂.

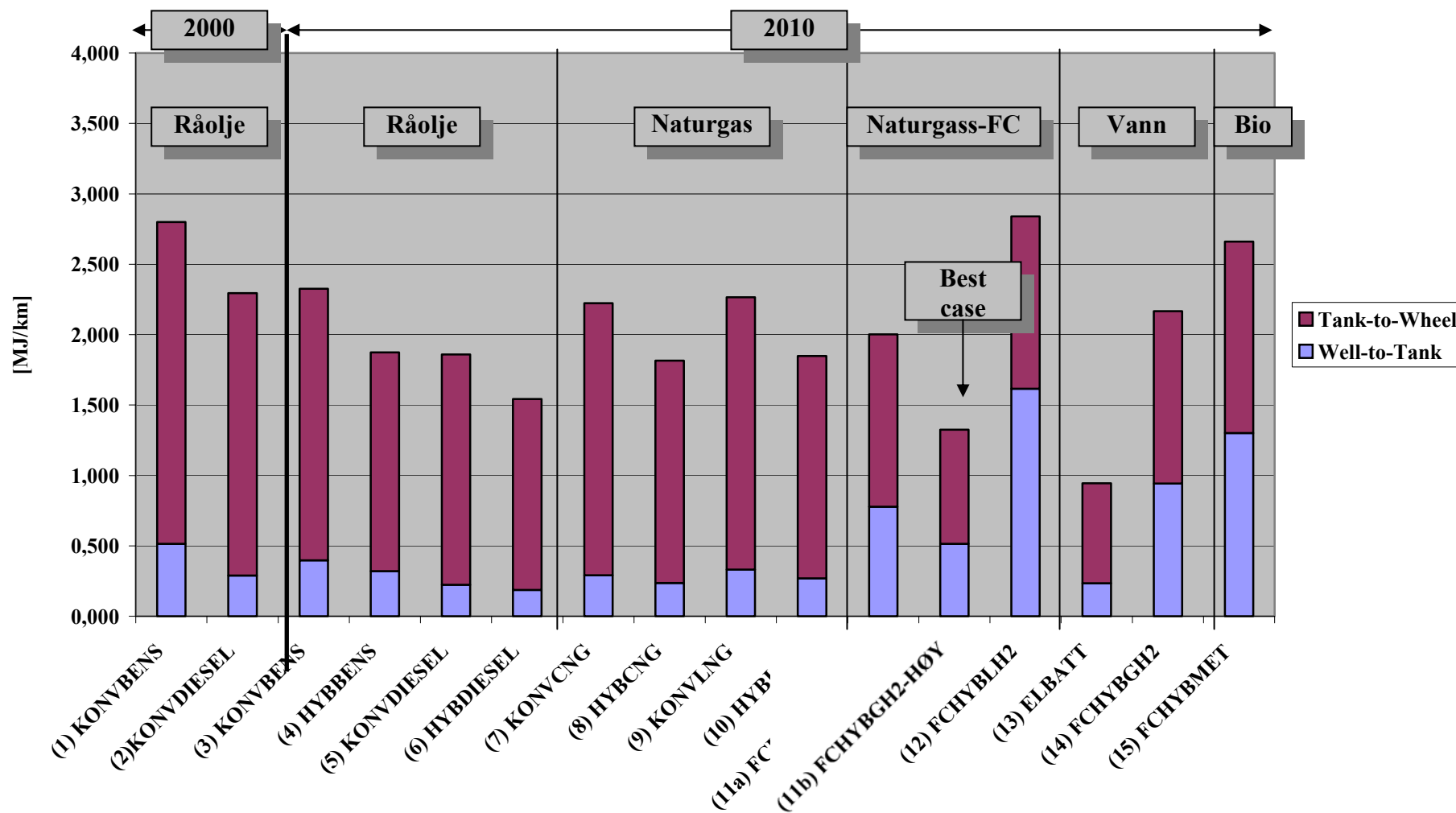
Figur 1.

WTW – Systemvirkningsgrad. Data refererer til personbil ved blandet by- og landeveiskjøring.



Figur 2.

WTW - Energibruk (MJ/km). Data refererer til personbil ved blandet by- og landeveiskjøring.



Figur 3.

WTW - utslipp av CO₂(g/km). Data refererer til personbil ved blandet by- og landeveiskjøring

