



Statens vegvesen

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 - 2011

ENØK Strategi vegtunneler

Statens vegvesens rapporter

Nr. 155



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Tunnel og betong
August 2012

Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler
2008 - 2011

Title**Undertittel**

ENØK Strategi vegtunneler

Subtitle**Forfatter**

Norconsult AS

Author**Avdeling**

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-
lingen

Seksjon

Tunnel og betong

Section

Tunnel og betong

Prosjektnummer

602182

Project number**Rapportnummer**

Nr. 155

Report number

No. 155

Prosjektleder

Harald Buvik

Project manager**Godkjent av****Approved by****Emneord**

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, Tun-
nel, Strategi, ENØK

Key words**Sammendrag**


Rapporten omhandler energibruk i tun-
neler med sikte på å foreslå tiltak for å
reducere energikostnadene ved nye anlegg
og i forbindelse med større rehabiliteringer.
Rapporten bygger på statistikk fra eksister-
ende tunneler og fremmer enkelte anbe-
falingen. Rapporten peker også på områder
hvor det vil være behov for å kartlegge
ytterligere og hvor den teknologiske ut-
viklingen vil kreve løpende endringer og
tilpasninger av dagens løsninger.

Summary**Antall sider**

Dato 21.august 2012

Pages

Date

 Norconsult AS, Hovedkontor Postboks 626, 1303 SANDVIKA Vestfjordgaten 4, 1338 SANDVIKA Telefon: 67 57 10 00 Telefax: 67 54 45 76 E-post: firmapost@norconsult.com www.norconsult.no Foretaksreg.: NO 962392687 MVA		RAPPORT	
		TITTEL MODERNE VEGTUNNELER ENØK STRATEGI	
		OPPDRAGSGIVER Statens vegvesen	
OPPDRAGSGIVERS KONTAKTPERSON Harald Buvik / Ole Christian Torpp			
OPPDRAGSNUMMER 5013053	DOKUMENTNUMMER 0001	UTARBEIDET Pål Johannes Larsen, Tor Mjøs m.fl	
DATO 19.08.2011	REVISJON Endelig	FAGKONTROLLERT Tor Mjøs	
ANTALL SIDER OG BILAG 28		GODKJENT Jens-Petter Henriksen	

SAMMENDRAG

Rapporten omhandler energibruk i tunneler med sikte på å foreslå tiltak for å redusere energikostnadene ved nye anlegg og i forbindelse med større rehabiliteringer.

Rapporten bygger på statistikk fra eksisterende tunneler og fremmer enkelte anbefalinger. Rapporten peker også på områder hvor det vil være behov for å kartlegge ytterligere og hvor den teknologiske utviklingen vil kreve løpende endringer og tilpasninger av dagens løsninger.

Rapporten går igjennom energiforbruksmønsteret til dagens tunneler i Norge og ser på hvilke tekniske installasjoner som forbruker mest elektrisk energi. Videre belyser den elementer ved prosjektering, planlegging og vedlikehold som påvirker dette forbruket.

Energibruken er i hovedsak knyttet til belysning, ventilasjon (lange tunneler) og pumping (hovedsakelig undersjøiske tunneler/u-formede). Belysning karakteriseres ved sin høye brukstid, ventilasjon med høy installert effekt/kapasitet og kort brukstid og pumper ved høy effekt men svært varierende forbruk avhengig av de lokale lekkasjeforhold.

Enkle driftstiltak som rengjøring av overflater og kalking/maling av vegger kan bidra positivt til mindre behov for tilført elektrisk energi til belysning, spesielt i kombinasjon med dynamiske styresystemer. For vifter og pumper er dimensjoneringskriteriene sentrale, men også her er det et potensial for en mer energieffektiv daglig drift.

Innkjøpsrutiner for utstyr og elektrisk kraft er andre momenter som er omtalt i rapporten, som viktige steg mot fremtidens energivennlig og effektive tunneler. Bedre og mer detaljert oppfølging av installasjoner ved å overvåke energibruken vil likeledes kunne effektivisere og optimaliser driften og minske de årlige kostnadene.

Med stadig økende automasjonsgrad og bruk av ny teknologi er det viktig at en både styrker og løpende ajourfører, den tekniske kompetansen i organisasjonen.

FORORD

Den foreliggende rapporten er et bidrag i forbindelse med Statens vegvesens forskningsprosjekt Moderne vegtunneler. Prosjektet er igangsatt på bakgrunn av de siste års erfaring med økende energibruk til drift av vegtunneler.

Rapporten er knyttet til delprosjekt 0 - Strategi for vegtunneler. Hensikten med dette delprosjektet er å utvikle helhetlige strategier som skal sikre høy kvalitet, sikkerhet og forutsigbarhet i forbindelse med planlegging, bygging, drift og vedlikehold av fremtidige vegtunneler.

Hovedtanken er å kunne bygge tunnelene slik at de har lavere energiforbruk enn dagens vegtunneler og at de ulike tunnelementene harmoniseres for å optimalisere utbyggingen samtidig som tunnelene skal kreve mindre drift og vedlikehold. Det er et ønske / forutsetning i denne forbindelse at de kostnadmessige og tidsmessige konsekvensene er innenfor rammer som samfunnet finner formålstjenlig. Det er ønskelig at vegtunneler indirekte skal bidra til mindre utslipp av CO2 gjennom lavere forbruk av elektrisk kraft.

Delprosjekt 0 inngår som ett av flere delprosjekter. Delprosjektet skal administrere, samordne og koordinere arbeidet med en helhetlig strategi for vegtunneler. Det er således en avhengighet mellom de ulike delprosjektene slik at delprosjekt 0 ikke kan ferdigstilles før flere av de andre delprosjektene er slutført.

Rapporten er utarbeidet av Norconsult AS ved oppdragsleder Jens-Petter Henriksen og delprosjektleder Tor Mjøs og PhD Pål Johannes Larsen. Under arbeidets gang har det vært tett dialog med oppdragsgivers representanter Harald Buvik, Ole Christian Torpp, Arve Jonassen mfl.

Statens vegvesen ønsker å utarbeide en strategi for nye vegtunneler der økt levetid og økt teknisk standard for fremtidige vegtunneler er viktige elementer. Norconsult AS har bidratt i dette strategiarbeidet med foreliggende rapport.

Økende krav fra samfunnet som helhet samt politisk satsning på energieffektivisering legger et større press på samferdselssektoren også innen planlegging og drift av tunneler.

Målet med rapporten er å beskrive realistiske måter å bygge nye tunneler slik at de har lavere energibruk enn dagens vegtunneler og at de samtidig krever mindre drift og vedlikehold. Ny teknologi vil ofte i seg selv være mer enn selvfinansierende sett opp mot merknad, men tas likevel ikke i bruk av ulike årsaker, f.eks kompetansekrav. Det er en forutsetning at de kostnadmessige og tidsmessige konsekvensene er innenfor rammer som samfunnet finner formålstjenlig.

Konsekvensen av tiltakene kan medføre økte investeringskostnader ved byggingen, men reduserte kostnader til energibruk og vedlikehold. Samtidig oppnås målet om at tunnelene blir sikrere og mer forutsigbare med hensyn til drift- og vedlikehold.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	TILTAK	4
1.1	Kompetanse og energioppfølging	4
1.2	Organisasjon, rutiner og innkjøp	4
1.3	Levetid og samlede driftskostnader	4
1.4	Optimal energibruk	4
1.5	Kostnader nettleie	4
1.6	Materialvalg	4
1.7	Belysning	5
1.8	Vifter	5
2	GENERELLE ANBEFALINGER	6
2.1	Kompetanse	7
2.2	Organisasjon, rutiner, innkjøp	7
2.3	Levetid og samlede driftskostnader	7
2.4	Optimal energibruk	8
2.5	Reaktiv effekt, tap i kabler	9
2.6	Kostnader nettleie	9
2.7	Belysning	10
2.8	Vifter	11
2.9	Materialvalg	11
2.10	Konsekvenser	11
2.10.1	<i>Belysning</i>	12
2.10.2	<i>Ventilasjon</i>	13
2.10.3	<i>Pumper og utstyr</i>	13
2.10.4	<i>Mekanisk</i>	13
3	SPESIELLE ANBEFALINGER	15
3.1	Energieffektive løsninger	15
3.2	Ettløps/lavtrafikk tunneler	15
3.3	Toløps/ høytrafikkerte tunneler	15
3.4	Undersjøiske tunneler	16
4	BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON	17
4.1	Ventilasjon, vifter	17
4.2	Belysning, armaturer	18
4.2.1	<i>Reaktiv effekt</i>	18
4.2.2	<i>Lyskilde</i>	19
4.2.3	<i>Mekanisk</i>	19
4.2.4	<i>Styring</i>	19
4.2.5	<i>Lyse vegdekker</i>	19
4.2.6	<i>Lyse tunnelvegger</i>	20
4.2.7	<i>Behovstilpasning, overvåking og styring</i>	20
4.2.8	<i>Tap i kabler</i>	20
4.3	Pumper	20
5	REFERANSER	21
6	APPENDIX	22

1 TILTAK

1.1 Kompetanse og energioppfølging

Det må etableres en stillingshjemmel i vegdirektoratet for oppfølging av energibruken til regionene. Hjemmelen må innebære tilgang til nødvendige hjelpemidler (programvare og databaser) og tillegges ansvar for koordinering og kvalitetssikring av innkjøp, forespørsler og operativ drift i forhold til energieffektiv energibruk. Hjemmelen må også innebære at det iverksettes aktiv kompetansedeling basert på erfaringer.

1.2 Organisasjon, rutiner og innkjøp

Det må utarbeides spesifisering for og iverksettes innkjøp av forbruksmateriell/reservedeler samt tilsvarende rammeavtaler for innkjøp av nytt materiell for følgende teknisk utstyr:

- Lyskilder
- Maling/coating
- Belysningsutstyr
- Vifter
- Pumper
- Kabler
- Kabelbruer
- Renhold

1.3 Levetid og samlede driftskostnader

Det må utarbeides overordnet mal samt etableres felles vedlikeholdsplan for periodisk vedlikehold av teknisk utstyr. Herunder også fullrenoveringer.

Det må ved nye anlegg avsettes nødvendig plass og rom for forventet framtidig utstyr, samt reserverom for bruk ved hovedrevisjon.

1.4 Optimal energibruk

Det må etableres et overordnet føringsdokument som angir kriterier for valg av energieffektivt utstyr og eller konstruksjonsdeler ved prosjektering og innkjøp. Kriteriene må hensynta både investeringskostnader, energieffektivitet, material/utstyrs kvalitet samt driftskostnader og tap.

1.5 Kostnader nettleie

Det må etableres rutiner for å optimalisere nettleie og nett-tariffer samt søke å inngå spesialavtale med netteier for uttesting av brannventilasjon. Det må foretas en overordnet vurdering av om nye anlegg skal tilknyttes på lav- eller høyspentnivå.

(Det anbefales også å utføre en slik gjennomgang med netteier også for eksisterende anlegg)

1.6 Materialvalg

Det må etableres prosjekteringskrav knyttet til følgende forhold:

- Utvasking av tunnel etter utsprenning
- Materialvalg og montasjeutførelse med hensyn til korrosjonsbestandighet og energieffektivitet
- Materialkrav for kabler
- Lagring, montasje og oppstilling av utstyr

1.7 Belysning

Det må etableres prosjekteringskrav knyttet til følgende forhold:

- Samlet energieffektivitet for armatur
- Behovsstyring
- Overflater og geometri i og utenfor inngangssone

1.8 Vifter

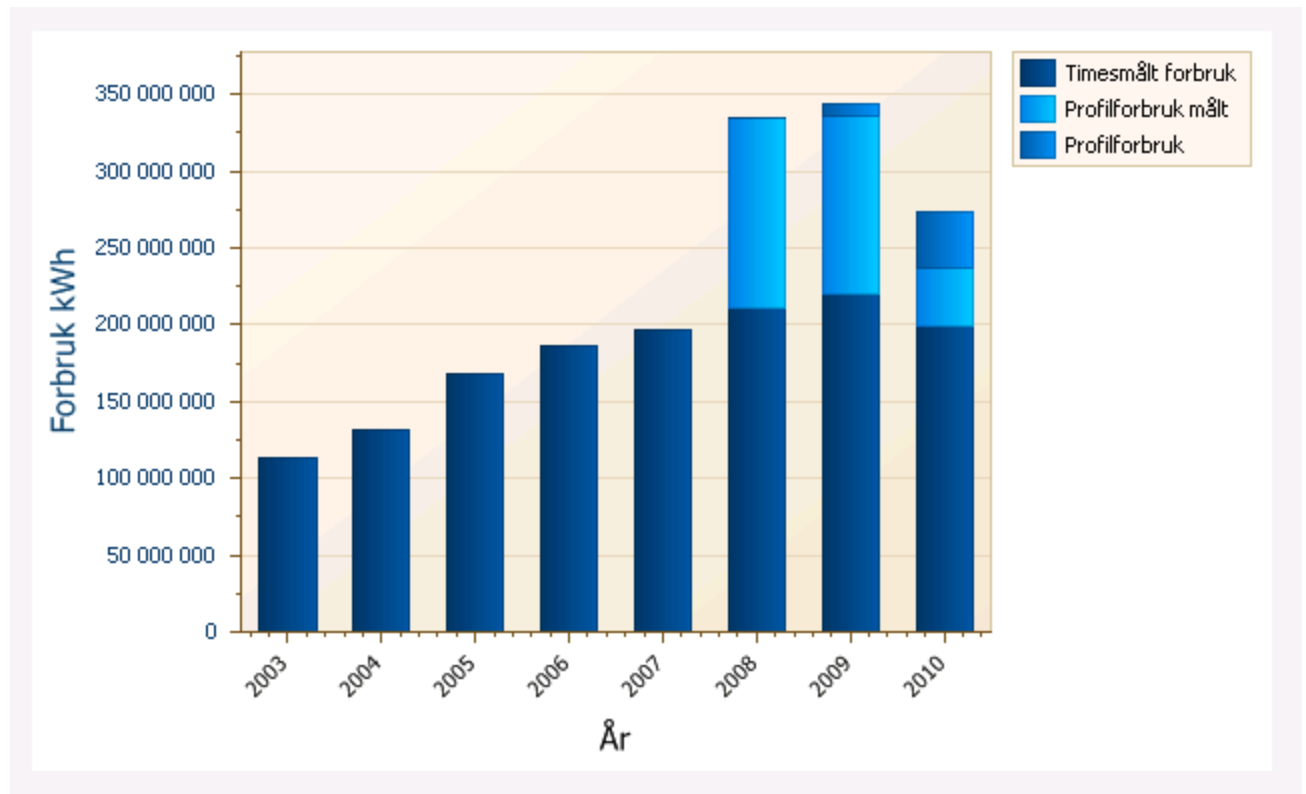
Det må etableres prosjekteringskrav knyttet til følgende forhold:

- Samlet energieffektivitet for vifte
- Behovsstyring
- Frekvens og design av nisjer

2 GENERELLE ANBEFALINGER

Nye byggemetoder og løsninger for nye vegtunneler setter endrede krav til den tekniske utrustningen. Videre muliggjør ny teknologi en mer optimal drift av anleggene, samtidig som denne teknologien også innebærer økt behov for ettersyn og vedlikehold. Tradisjonelle norske tunnelmetoder legges til grunn for bygging av tunneler med 100 års levetid, men det anbefales likevel visse justeringer og endringer i forhold til dagens praksis.

Statistikken viser at energibruken er i kraftig vekst. For å nå overordnede målsettinger om begrense energibruken står en overfor betydelige utfordringer. (Den store variasjonen i profilmålt forbruk skyldes i hovedsak omleggingen av ansvaret for fylkesvegnettet)



Figur 1 Årlig energiforbruk (kWh) i perioden 2003-2010

Med økt automasjonsgrad av den tekniske utrustningen i nye og rehabiliterte tunneler er det viktig at både den bestillende, prosjekterende og utførende part skaffer seg kompetanse, utstyr og lærer seg metoder for kostnadseffektiv utførelse av energieffektive løsninger. Endringene er bl.a.:

- Det bør benyttes nye prosedyrer ved prosjektering og utførelse
- Den tekniske utrustningen bør bygge på klare, enhetlige arbeidsbeskrivelser samtidig som det utøves bedre oppfølging både under prosjektering og utførelse
- Det bør benyttes nye metoder, herunder vurderinger som kan lede til å øke kvantitet og kvalitet på arbeidet og produkter knyttet til leveransene

Denne utredning er i hovedtrekk myntet på nye tunneler, men som følge av skjerpede myndighetskrav med tanke på økt sikkerhet, miljø og energibruk så vil det bli behov for totalrenovering av store deler av de tekniske anlegg i eksisterende tunneler. Det er derfor viktig at krav og føringer for nye tunneler ses opp mot tilsvarende for tunneler som om ikke lenge må gjennomløpe en totalrenovering, slik at man får ensrettede løsninger.

Det er rimelig å anta at det blir flere kilometer med rehabilitering enn nybygg i årene som kommer.

2.1 Kompetanse

Det er store verdier knyttet til de tekniske anleggene i dagens og framtidens tunneler. Det innebærer at forvaltningen av disse verdier og dets operasjonelle drift må tillegges økende vekt ettersom kostnadene både investeringsmessig og driftsmessig øker. Med årlige energikostnader alene på mellom 250-300 mill kr (Ihht database fra kraftleverandøren Bergen Energi for de siste tre år) for all vegdrift gir det seg selv at mindre forbedringer vil medføre store besparelser. Slik er det også for tunneler, hvis driftsorganisasjon må sees i sammenheng med øvrige aktiviteter.

Det vil kreves kompetanse innen mange fag, herunder en aktiv forvaltning av energibruken. Gjennom løpende registrering og kartlegging av energiforbruket vil man raskt og oversiktlig kunne se potensialer for forbedret drift og reduserte kostnader. Dette er kompetanse som aktivt må bygges opp og vedlikeholdes. Det bør legges opp til:

- Løpende oppfølging av energibruken (ved hjelp av automatisk detektering av større endringer på anleggsnivå)
- Styrke den tekniske kapasitet og kompetanse i organisasjonen

Ved å etablere oppfølging og overvåking av forbruket vil uheldige driftsrutiner kunne avdekkes på et tidlig stadium. Med dagens løpende registrering av elektrisitetsforbruket er dette godt mulig men fordrer enkelte grep:

- Data fra netteier overføres sentralt historisk register hos Statens Vegvesen
- Det etableres oversikt over installerte effekter og forbruk/typer knyttet til den enkelte måler
- Det etableres personellmessige rutiner og ressurser til løpende oppfølging
- Sentralt dataregister utføres med automatisk system for varsling av unormalt forbruk (slik programvare er tilgjengelig i markedet, men må trolig tilpasses noe)

2.2 Organisasjon, rutiner, innkjøp

Dagens metode for prosjektering og innkjøp av utstyr er prosjektbasert. Det innebærer at det designes og spesifiseres utstyr fra anlegg til anlegg. En slik løsning innebærer at det blir valgt utstyr og løsninger knyttet til den leverandøren som til enhver tid får tilbudet. Denne metodikken innebærer at det er vanskelig å oppnå ensartede løsninger, herunder felles lagerhold for reservemateriell og planlagt vedlikehold. Tidvis velges også ikke standardiserte løsninger og eller atypiske bestykninger på typisk pumper, releer, belyningsarmaturer mv fordi det settes særskilte krav til utforming, materialkvalitet eller effektstørrelser. Dette er forhold som går i hver sin retning.

Det bør utlyses en rekke teknologi leveranser på rammeavtale som da tiltransporteres hovedentreprenør. Dette vil typisk omhandle produkter som belyningsutstyr, vifter, pumper, kabelbruer, elektrotekniske arbeider/leveranser, automatikk og tavler. Da vil man kunne begrense antall utstysvarianter og velge de mest energiøkonomiske løsningene, selv om også denne type leveranseform først vil gi effekt etter noe tid.

Det anbefales lagt opp til:

- Rammeavtaler for leveranse av teknisk utstyr, både til nyinvesteringer og erstatnings/reservedelsmaterieell (omfattende eksempelvis belyningsutstyr, vifter, pumpe, lyskilder, kabler og kabelbruer)

2.3 Levetid og samlede driftskostnader

Sett i lys av samfunnets krav til at viktige samferdselsårer til enhver tid skal være åpen for trafikk, er det ønskelig med ytterligere økt teknisk levetid for nye tunneler. De definerte strategiene ved bygging av nye vegtunneler i Norge bør være basert på totalkostnad over investerings levetid for å unngå ensidig press på investeringskostnad ved leveranser, men dreie evalueringen over til den samlede kostnad av innkjøp og drift over utstyrets levetid.

For å kunne gjennomføre disse nye strategiene, må en i fremtiden endre noen av de gjeldende håndbøker og veiledere og sørge for at norsk tunnelpraksis justeres eller endres ytterligere. En må dessuten være villig til å investere mer i forkant. Hele kjeden fra planlegging, via prosjektering til kontrahering, bygging og oppfølgingen må forbedres.

Det vil alltid være vanskelig å optimalisere forhold knyttet til levetid, forenklet vedlikehold, utstyrskvalitet og kostnader. Som følge av skjerpede krav (blant annet gjennom miljø og energilovgivningen, herunder krav til produkters energieffektivitet (EuP/Eco-design)) til miljø og energibruk introduseres blant annet elektronisk utstyr. Videre medfører økende energipriser generelt at lange levetider på utstyr alene ikke kan legges til grunn ved nyinstallasjoner. Med et perspektiv på 100 år for berg og bergsikring, vil det bli nødvendig med en rekke utskiftninger av den tekniske utrustningen innenfor denne tidsrammen.

Også som følge av det tøffe miljøet en finner i vegtunneler, herunder, støv, salt og mekaniske påkjenninger må man belage seg på relativt korte livssykluser sammenlignet med andre miljøer som industrien leverer utstyr til. For belysning og elektroniske komponenter er selv levetider på 15-20 år lenge under slike omstendigheter.

Det må derfor i planleggingen legges opp til sykluser for del- og totalrenovering av den tekniske utrustningen, og spesielt vil kabler og utstyr i tak/bruer, grøfter og eventuelle kryperom utformes med tanke på slik utskifting samt paralleldrift under selve omleggingsfasen. Det bør derfor allerede i designprosessen tilrettelegges for fremtidige utskiftninger med tanke på fysiske behov og praktisk gjennomføring av slike revisjoner.

Det anbefales lagt opp til:

- Etablere faste rutiner for del- og totalrenoveringer basert på kostnadsoptimalisering over tiltakets levetid sett i sammenheng med praktiske erfaringer
- Etablere tilpassede prosjekteringsveiledere
- Tilrettelegge for paralleldrift under renoveringer

Alt utstyr har i utgangspunktet en teknisk-økonomisk levetid. Det innebærer at man ut fra feilrate, ettersyn og risiko for andre skader (f. eks mulige branntilløp) ønsker å skifte utstyret selv om dette "virker". Videre vil økende energikostnader også kunne påvirke utfallet av en slik beregning i retning av hyppigere utskifting. For å lette framtidige utskiftninger er det viktig å sikre tilstrekkelig areal for teknisk utstyr, herunder klimatisert miljø i disse rommene som gir normal levetid for utstyret. Dette gjelder spesielt tekniske rom, underfordelinger og skap mv. til:

- Belysning
- Ventilasjon
- Pumper

Det bør skilles mellom skifte av enkeltkomponenter som følge av komponentsvikt og mer rutinemessig utskifting samt totalrenovering. En vil kunne redusere kostnader ved følgende rutiner:

- Forenkle lagerhold (bl.a ved endrede rutiner for innkjøp) og ved begrenset antall hovedleverandører
- Etablere rutiner for periodevis utskifting av svake komponenter
- Etablere fast rutine for hovedrevisjon, herunder totalutskifting (fra 15-25 års sykluser)

2.4 Optimal energibruk

For de fleste tunneler er belysning den største enkeltpost vedr energibruk. En optimalisering på dette fagområdet vil derfor, om gjennomført på alle nye og rehabiliterte tunneler være av stor betydning for energibruken.

Det bør legges stor vekt på følgende:

- Belysning
 - Bedret lysutbytte
 - Bedre styring, behovstilpasning

- Lyse/hvite innvendige flater/vegger og dekker
- Portalåpning anlagt med tanke på lysforhold og kontrast for å redusere behovet for kunstig belysning/bedre observasjonsevnen i innkjøringssonen
- Ventilasjon
 - Energieffektive vifter i tunneler med høy brukstid (effektklasse 1)
 - Mer optimalisert styring relatert til støv og CO/CO₂ konsentrasjon. CO/CO₂ er med bedre forbrenningsmotorer mindre utslagsgivende enn før og det er spesielt styring ihht støv som er en utfordring. Studier utført av Statens Vegvesen viser at en mer proaktiv regulering av viftene, vil kunne gi mindre totalforbruk, men lenger driftstid på lavere samlet effekt
 - Optimalisering av viftestørrelse, vifteeffekt mv. sett opp mot ventilasjonsnisjer, antall og utforming
- Pumper
 - Benytte standardiserte løsninger og trinnpumping (Vegdirektoratet, 2005)
 - Primært å programmere pumpearbeidet til tider av døgnet med lav generell belastning på el-nettet
 - Beregne pumpeumpens størrelse ihht kostnadseffektiv drift
 - Pumpe mot lukket system om mulig (med tilbakeslagsventil)
 - Tilstrebe bruk av takrenneprinsipp og tverrslagsboring om mulig

2.5 Reaktiv effekt, tap i kabler

Med økende grad av elektronisk utrustning og faste krav til fasevinkel (andel reaktiv effekt) ansees dette som et mindre problem for framtiden. Riktignok leveres en del utstyr med svært prosentvis høy reaktiv effekt ved lave belastninger, men dette anses for uproblematisk gitt den lave totalbelastningen. Ved økt benyttelse av dynamiske installasjoner bør det likevel bemerkes at det bør vektlegges at de tekniske installasjoner tilfredsstiller funksjonskrav i alle driftsnivåer, da det observeres en vesentlig forverring av flere elektriske kvalitetsparametere ved drift på redusert nivå (belysning, pumper).

Tap i kabler bør skje på basis av energiøkonomiske beregninger av tverrsnitt gitt de aktuelle forskriftskrav. Dette ligger primært på designstadiet, men også ved utforming av driftsrutiner, alternering av ventilasjon f.eks kan dette vektlegges. Teknisk sett blir kabler dimensjonert for å oppfylle de elektriske minimumskriteriene. I flere tilfeller vil man ved å øke tverrsnittene utover dette kunne spare 0,5-1 % på reduserte elektriske tap i overføringen, men samtidig også øke vekten på kabelbruer.

Det bør legges vekt på følgende:

- Etablere måling og loggføring av reaktiv effekt (i alle normale operasjonstrinn)
- Angi minimumskrav til utstyr relatert til reaktiv effekt
- Gjøre energiøkonomisk beregning av kabeltverrsnitt mv.

2.6 Kostnader nettleie

Nettleien er en betydelig og økende kostnad. Spesielt på grunn av enkelte tunnelers atypiske energiforbruk kan vanlige tariffer fra nettselskaper virke urimelige. Fordi vegtunneler ofte innbefatter etablering av ny elektrisitetsforsyning inkl transformatorer hvor utbygger betaler det hele i anleggsbidrag, kan kjøp av elektrisitet på høyspentnivå være aktuelt. Hvis man velger å gå i denne retningen vil det innebære at Statens Vegvesen påtar seg et formelt ansvar i forhold til flere elektriske forskrifter (evt også Forskrift om elektriske forsyningsanlegg). Dette innebærer blant annet endrede formelle krav til driftsledelse innen organisasjonen.

- Vurdere kjøp av/tilknytning til elektrisitet på høyspent tariff
- Det er viktig å sikre at en ved test av brannventilasjon fordeler driftstiden på to klokke timer, og i begrenset tid. Det betales separat kostnad for uttatt effekt. Denne beregnes for samlet uttak pr påløpt time. Ved å fordele driftstiden over to klokke timer reduseres denne kostnaden betydelig.

- Enkelte nettselskaper aksepterer å slette slike timesverdier for testkjøring, dersom dette avtales på forhånd og gjøres på en tid av døgnet som netteier foreslår (slik at de ikke straffes videre mot overordnet nett)
- Enkelte netteiere aksepterer at flere hovedmålere kan inngå i "ett anlegg" eller abonnement. Det vil kunne gi lavere "topp" og eventuelt færre fastabonnement (mindre fakturahåndteringskostnader)

2.7 Belysning

For fremtiden vil det være ønskelig om en lyskildetype tilfredsstillende alle kravene en har til belysning i hele tunnelens strekning. Dvs. både en høy "lumen-output" per lyskilde, høy energieffektivitet og god fargegjengivelse. På dagens marked må valget fortsette å falle på en kombinasjon av høytrykksnatrium og lysrør med metallhalogen som et alternativ til høytrykksnatrium lyskilden hvis man i et tunnelprosjekt legger mer vekt på estetiske hensyn (fargegjengivelse og fargetemperatur), mens for fremtiden ser vi at LED utvikler seg i retning av å kunne bli et fullgodt alternativ i hele tunnelens strekning.

Som en tilnærming bør man etterstrebe mørkest mulig asfalt i tilkomstområdet i dagen før tunneler, gjerne de siste 2-300 m. Dette vil bidra til en lavere adaptasjonsluminans i tilkjøringssonen. Erfaringer fra det Danske Vejdirektoratet viser at man med god planlegging kan redusere luminansen i terskelsonen med opp til 57 % (Schmidt, 2009).

Inne i tunnelen bør man etterstrebe lysest mulig overflater. Dette vil selvfølgelig måtte avveies mot dekkets andre egenskaper, spesielt vil lyse vegdekker være mer utsatt for ising da de generelt får en lavere overflate temperatur enn mørkere vegdekker. En workshop avholdt i regi av Statens Vegvesen i 2008 (Wanvik, 2008) konkluderte med at man ved benyttelse av såkalt "lys asfalt" kunne oppnå en 100 % økning av luminansnivå sammenlignet med standard "mørk asfalt", noe som igjen antas å kunne gi en 30-40 reduksjon av energiforbruket til belysning (avhengig av typen lyskilde).

Ytelseskrav til lyskilder

Ved å innføre gode rutiner på lysstyring som linkes mot vedlikeholdsintervallene til tunnelen (både rengjøring og lyskildeskift) vil man direkte kunne spare inn tilnærmet 10 % av energiutgiftene til belysning (halvparten av vedlikeholdsfaktoren som benyttes ved etablering av lysanlegg). Dette fordrer et dynamisk regulerbart lysanlegg. Videre vil man også kunne utnytte lyse tunnelvegger og deres bidrag til reflektert og interreflektert lys til vegbanen i en driftssituasjon.

Det bør legges vekt på følgende:

- Standardisere krav og begrense antall typer av lyskilder
- Løpende følge utviklingen for LED som lyskilde
- Iverksette behovsstyring av lyset samt å slå av i perioder uten trafikk. (Statens vegvesen, Anders T Olsen)
- Anvende mørk asfalt i sonen før portalåpning
- Anvende lys asfalt i sonen innenfor portalåpning
- Velge lyse og jevne flater (vegger og hvelving)
- Ta hensyn til interreflektert lys fra lyse flater i lysberegninger
- Optimalisere utforming av utvendig inngangssone, herunder raster, kontraster, geometri mv
- Bedrede rutiner for rengjøring av vegbane og tunnelvegger, samt belysningsutstyret
 - Rengjøring av armaturoptikk og glass ved lampeskift
 - Rengjøring eventuelt overmaling av tunnelvegger
 - Evt anvende salting for å redusere støvdannelse

2.8 Vifter

Brannventilasjonen er vanligvis dimensjonerende for valg av installert viftekapasitet. Generelt gjelder at vifter med store tverrsnitt gir best energivirkningsgrad, men krever større plass pga sin byggehøyde (diameter). Økt materialkvalitet på selve motoren er også av betydning for energibruken, spesielt slår det ut ved høy brukstid. Det vil følgelig være riktig å hensynta disse forhold ved basisventilasjon som forventes å ha høy brukstid:

- utforming av tverrsnitt for tunnel
- frekvens og design av nisjer

Med basis i lik skyvekraft (657 N) vil 8 stk 800 mm. vifter trekke 217 kW mens tilsvarende 8 stk 1400 mm. vifter vil trekke 124 kW. De store viftene har nær en halvering av forbruket og setter tilsvarende mindre krav til størrelsen på kabler, transformatorer og bryterutstyr. Velger man en annen 1400 mm. modell, men med større enkeltvis effekt vil kun 2 stk vifter på til sammen 82 kW gi samme skyvekraft (657 N). Det er derfor viktig å velge riktig løsning for den aktuelle tunnel med hensyn til energibruken.

Brann- og tilleggsventilasjon kan derimot utføres uten videre krav til energieffektivitet pga sin korte brukstid om investeringskostnadene ellers holdes under kontroll.

Det bør legges vekt på følgende:

- Energieffektive vifter med tilhørende motorer til basisventilasjon
- Optimal utforming av vifter/viftenisjer for basisventilasjon ift tunnelens profil
- Rutiner for test av brannventilasjon må sees i sammenheng med nett-tariff og energikostnader

2.9 Materialvalg

Utstyr som står i vegtunneler og i særdeleshet undersjøiske vegtunneler utsettes for et tøft klima. Svovelholdige forbindelser og rester etter utsprenging av tunnel samt NO_x forbindelser tærer på materiell. For å sikre tilsiktet funksjon og et driftssikkert anlegg må utstyr designes og spesifiseres med tanke på dette miljøet. Det bør vektlegges følgende:

- God utvasking av tunnel etter endt utsprenging
- Utstyr som belysningsarmaturer, kabelbruer, pumper, ventilasjon, bolter, fester, stolper, stativ mv må normalt utføres i rustfritt stål, syrefast stål i undersjøiske tunneler. Aktuelle klasser og normer må spesifiseres.
- Kabler må tåle lave temperaturer under montasje og drift
- Innfesting i betong bør utføres med om mulig epoxy el lign beskyttelse av stål. Bolter mv må ikke bøyes eller lignende da dette vil medføre svekking av korrosjonsbeskyttelsen
- Skap bør monteres på opphøyd underlag (f.eks datagulv) og i tette rom med lokal luftrensing
- Transformatorer bør ikke ha mekanisk ventilasjon og lave tap må vektlegges, samt at det må sikres tilstrekkelig avkjøling gjennom design av transformatorrom (lav K-verdi)
- Pumper med motorer bør være tørroppstilte/aksialpumpe og montert i eget rom. Pumper og samlestock utføres i rustfritt stål (syrefast i undersjøiske tunneler)
- For å sikre mot at utstyrets korrosjonsbehandling blir skadet må det utarbeides gode beskrivelser av lagring og montasje/oppstilling av utstyr i montasjeperioden

2.10 Konsekvenser

Det er noen direkte sammenhenger ved utforming av teknisk utrustning sett opp mot energibruken. Videre er det viktig at disse sammenhengene sees opp mot drift og energikostnader og evt andre byggekostnader. I det etterfølgende vil vi belyse enkelt av disse:

2.10.1 Belysning

Forhold	Sikkerhet	D&V	Fordel	Ulempe	Annet	Konsekvens
Myndighetskrav til elektronisk forkopling	· Ingen betydning	· Lengre levetid på lyskilde	· Mindre tap og energibruk · Mulighet for dimming	· Kortere levetid enn konvensjonell forkopling	Pålegg	Kortere praktisk levetid -hyppigere utskiftingsfrekvens
Myndighetskrav til energieffektive lyskilder	· Ingen betydning	· Ingen betydning	· Mindre tap og energibruk · Mulighet for dimming	· Dagens lyskilder kan bli utfaset/forbudt	Pålegg	Vanskelig med lagerhold, armatur må etter hvert skiftes
Anvende LED som lyskilde/armatur	· Umiddelbar tenning ansees som en fordel	· Må skifte hele armatur ved levetids slutt · lengre levetid på lyskilde	· Lyser 100 % umiddelbart etter tenning -egnet til tenning og slukking i lavtrafikkerte tunneler · Mulighet for dimming	· Foreløpig veldig dyr · Blending er en utfordring · Fasevinkel kan være et problem · Kan ikke skifte kun lyskilde	Løpende utvikling i positiv retning	Muliggjør slukking av lys i lavt trafikkerte tunneler Ikke lønnsomt i høytrafikkerte tunneler
Adaptiv belysning i indre soner (lange tunneler)	· Liten betydning · Bedre adaptasjon mot nattemørke	· Ingen betydning	· Lavere energibruk · Forlengt levetid lyskilde	· Ingen betydning · ·		Endret desin/styresystem
Asymmetrisk belysning (counterbeam)	· Økt kontrast	· Marginal kostnadsøkning	· Økt kontrast bidrar til å øke synbarheten for objekter i vegbanen i inngangssonen ·	· Flere armaturer ·		Økt sikkerhet

2.10.2 Ventilasjon

Forhold	Sikkerhet	D&V	Fordel	Ulempe	Annet	Konsekvens
Energieffektive vifter har større diameter	· Ingen betydning	· Lavere hastighet og lengre levetid	· Mindre energibruk · Evt større avstand mellom vifter/reduert antall	· Tar større plass ·		Evt utforming av tunneltverrsnitt og nisjer i tak
Behovsstyre ventilasjon	· Øker	· Sensorer må vedlikeholdes	· Energikostnad kan reduseres ·	· Ingen betydning	Bedret klima	Må samkjøres med brannventilasjon Styresystem må etableres
Brannventilasjon har kort brukstid	· Ingen betydning	· Ingen betydning	· Energikostnad har liten praktisk betydning ·	· Valg av vifter med lav effektivitet vil forde større kapasitet i elektrisitetsforsyning		Kan resultere i ulik løsning for brann og basisventilasjon
Testkjøring av brann ventilasjon	· Utføres regelmessig	· Ingen betydning	· Verifisert funksjon	· Høy kostnad for uttatt effekt · Ineffektive vifter trekker mer effekt pr skyvekraft	Testkjøring bør fordeles på to klokketimer og utenom den tiden hvor belysningen trekker mest last	Endrede rutiner, lavere kostnader.

2.10.3 Pumper og utstyr

Forhold	Sikkerhet	D&V	Fordel	Ulempe	Annet	Konsekvens
Tørroppstilte pumper	· Mindre risiko for uønsket stans	· Lengre levetid ·	· Mer robust løsning · Lettere tilsyn og vedlikehold	· Krever større plass/ eget rom/nisje ·		Egen nisje / pumperom
Godt miljø for tekniske tavler mv	· Mindre risiko for uønsket stans	· Lengre levetid ·	· Mer robust løsning · Lettere tilsyn og vedlikehold	· Krever større plass/ eget rom/nisje ·		Egen rom med klimatisering
Pumping om natta	· Ingen betydning	· Ingen betydning	· Mindre belastning på transformator	· Evt behov for større pumpesump		· Lavere energikostnader, evt økt byggekost pumpesump

2.10.4 Mekanisk

MODERNE VEGTUNNELER

STRATEGI FOR BYGGING AV NYE VEGTUNNELER
Dokumentnummer: 0001

Forhold	Sikkerhet	D&V	Fordel	Ulempe	Annet	Konsekvens
Asymmetrisk plassering av kabelbru	· Økt sikkerhet	· Kan vedlikeholde med trafikk i en kjørebane	· Enklere å vedlikeholde · Enklere planlegging	· Krever tydelig merking · Høyere kostnad		Endrede prosjekteringsrutiner Lysarmaturer må ha svak asymmetrisk reflektor
Etablere egne livssykluser for utsatt utstyr	· Økt sikkerhet	· Redusert vedlikehold	· Mindre fare for komponenthavari · Kostnader kan planlegges	· Får annen syklus enn øvrig utstyr · Hyppigere perioder med "parallell drift" nytt og gammelt		Endrede rutiner mellom planlagt og uforutsett vedlikehold
Etablere bedre miljø for teknisk utstyr	· Økt sikkerhet	· Redusert vedlikehold · Lettere vedlikehold	· Mindre fare for komponenthavari · Kostnader kan planlegges	· Høyere førstegangs kostnad · Avsatt plass kan med teknologiutvikling endre seg		Utvidet behov for areal/rom inkl reserverom som planlegges benyttet ved omlegging
Doble kabelbruer	· Økt sikkerhet	· Redusert vedlikehold · Lettere vedlikehold	· Kan vedlikeholde en kabelbru mens den andre er i drift · Sikrere med tanke på kortslutninger/brann mv	· Høyere kostnader · Kan innebære ulempe ved tvillingvifter		Omlegging av planleggingsrutiner

3 SPESIELLE ANBEFALINGER

3.1 Energieffektive løsninger

For alle tunneler vil behovsstyrte tekniske installasjoner blir mer og mer aktuelt i takt med den tekniske utviklingen på benyttet utstyr. Det vil typisk være lengre perioder, spesielt nattetid, hvor behovet for ventilasjon og belysning kan reduseres til et lavere nivå enn de statisk fastsatte nivåene man tradisjonelt opererer med.

Energibruken til ventilasjon varierer meget mellom de ulike typer av tunneler. I dag dimensjoneres normalt ventilasjonsanlegg ut fra behovet til brannventilasjon. Det vil derfor være viktig å skille på teknisk løsning avhengig av brukstiden til ventilasjonen, ofte sammenfallende med ÅDT.

3.2 Ettløps/lavtrafikk tunneler

For lavtrafikkerte tunneler kan det også med nyutviklet deteksjonsutstyr med høy deteksjonssikkerhet være aktuelt å skru av utstyret i perioder hvor tunnelen har liten eller ingen bruk. Et eksempel på dette kan være bruk av LED lamper og QL lamper som tenner umiddelbart (uten forhåndsoppvarming) om en reisende detekteres og som kan benyttes på mindre tunneler på den måten at lyset er av når det ikke er trafikk.

Asymmetrisk motlys (ofte henvist til som "Counterbeam") er et prinsipp man kan benytte i tunneler for å motvirke blinding og derav oppnå bedre synbarhet av objekter på vegbanen. Ved å kaste mer lys i motsatt retning av fartsretningen belyser man objekter på vegbanen i silhuett noe som vil gjøre dem bedre synlige. Prinsippet benyttes i inngangsoner hvor man har en høy andel dirkede sollys, altså et høyt luminansnivå, slik at synsforholdene i utgangspunktet er dårlige. Prinsippet er slik sett et godt tiltak på dagtid men vil ikke ha noen forbedrende effekt på synsforholdene nattetid.

Bruk av asymmetrisk motlys bør vurderes opp mot trafikkmengde og størrelsen på adaptasjonsluminansen ved inngangsonen.

Ved plassering av kabelbru asymmetrisk i tunnellopet vil man kunne utføre vedlikehold ved kun å stenge av en vegbane. Det kan også vurderes bruk av to parallelle kabelbruer.

Det bør legges vekt på følgende:

- Behovsstyre lys, ventilasjon mv ved hjelp av ny sensorteknikk
- Asymmetrisk plassering av kabelbruer, evt to kabelbruer
- Asymmetrisk motlys i inngangssoner

3.3 Toløps/ høytrafikkerte tunneler

For små og korte tunneler betyr virkningsgrader og optimal utforming av belysningen relativt lite sett opp mot energibruk. For lange og høyt trafikkerte tunneler vil en optimalisering gi store gevinster.

Asymmetrisk belysning bør brukes i inngangs- og overgangsoner. Viktigst ved høye adaptasjonsluminanser for å motvirke blinding, ved neddimming nattetid hvor anlegget går over til suppleringslys, er det ikke like viktig å ha asymmetrisk motlys. Det bør derfor i designprosessen etterstrebes å benytte asymmetrisk lys til den andelen av belysning i inngangsonene som dimmes ned eller skrues av i nattrinnet.

Det bør legges vekt på følgende:

- Behovsstyrt ventilasjon (trinnløs regulering) ihht sanntids trafikkforhold
- Optimere viftekapasitet ift medstrømseffekten av ettløpstunneler
- Adaptiv tilpasning av belysningen i indre sone på lengre tunnellop
- Bruk av alternativ/supplerende belysning for generell reduksjon av belysningsnivå i indre sone; ledelys eller motlys.
- Behovstilpasning ved midlertidig tovegs/møtende trafikk i normalt envegs trafikkerte tunneler

3.4 Undersjøiske tunneler

Man bør velge materialkvalitet i utstyr sett opp mot øvrige komponenter og tilhørende utskiftingscykluser. Spesielle forhold i som til f.eks etsende vann (pga dynamittslam) i en kortere periode må ivaretas særskilt.

Spesielt i undersjøiske tunneler, men også i mer ”tørre” tunneler er det høy luftfuktighet og stedvis uønsket (teknisk sett) mye salt. Dette tærer på materiellet og bidrar til kortere levetid enn vanlig. En må derfor hele tiden balansere mellom ”opp front” investering i god materialkvalitet og lang levetid mot hyppigere utskiftninger. Med økende bruk av styringssystemer og elektroniske komponenter i anleggene, både for lys og annen teknisk utrustning går trenden mot hyppigere utskiftingscykluser av teknisk økonomiske hensyn. Slike forhold må ivaretas under prosjekteringen.

Det bør legges vekt på følgende:

- Vurdere materialkvalitet opp mot teknisk økonomisk vurdering
- Etablere egne utskiftings-sykluser for spesielt utsatt utstyr
- Tilstrebe bedret miljø for teknisk utstyr, alternativt hyppigere del- og totalutskiftninger

4 BESKRIVELSE AV DAGENS SITUASJON

De aller fleste norske vegtunneler er bygget fra 1960 og fremover. I perioden har det vært en stor utvikling både knyttet til prosjekteringen og byggingen av tunnelene, og de bygde tunnelene representerer hele denne utviklingen. Vedlikeholdet av tunnelene, eller mangel på vedlikehold, spiller også inn. Det er dessuten stor variasjon i geologi, tunneltype, trafikkmengde, osv. Resultatet er at tunnelene har stor variasjon med tanke på standard og kvalitet. Noen lavtrafikkerte tunneler er dessuten bygget med bevisst lav kvalitet for at man i det hele tatt har kunnet forsvare prosjektet kostnadmessig.

Etter årtusenskiftet har blant annet større alvorlige ulykker i vegtunneler medført skjerpede krav til drift, utrustning og mer langsiktig design av tunneler. I de siste 2-3 årene er det dessuten skjedd en standardheving når det gjelder krav til bygging av nye tunneler og utførelsen. Det er også skjerpede krav til ventilasjon og nødlys ifbm en evakuerings situasjon.

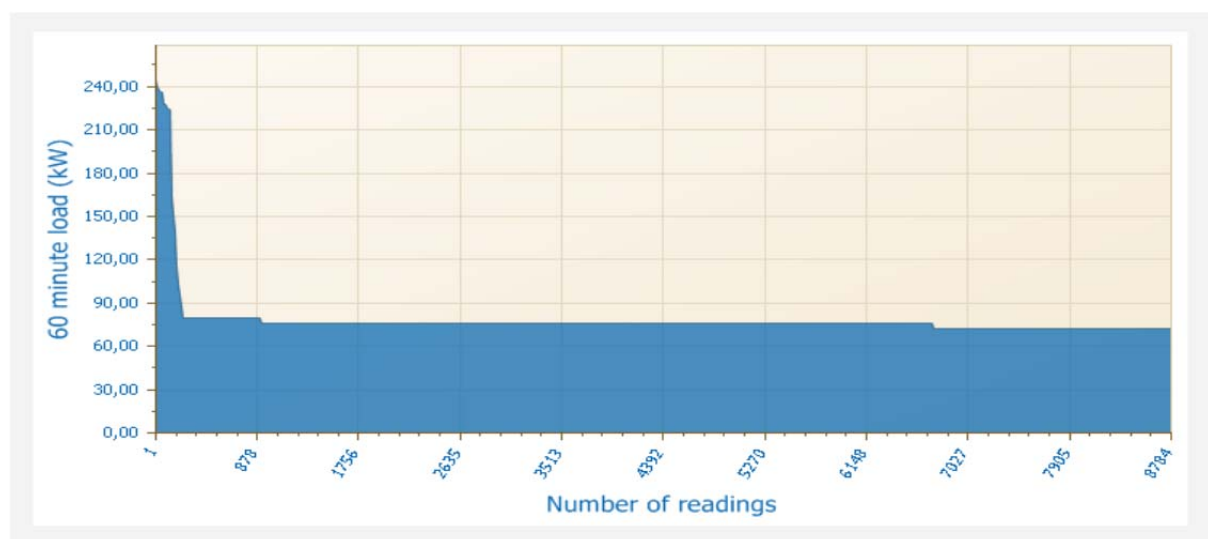
4.1 Ventilasjon, vifter

Ventilasjon er energikrevende. Selv om en i stor grad ønsker å utnytte den naturlige ventilasjonen (skorsteinseffekten) er det behov for mekanisk ventilering i de fleste tunneler. Spesielt for undersjøiske tunneler er dette helt nødvendig pga det u-formede tunnellop. Det vanlige er at ventilasjonen styres ut fra registrert CO/CO₂ (kritisk verdi) og støv/sikt. Med bedre forbrenning av drivstoffet er CO/CO₂ et mindre problem enn før, slik at støv ofte er utløsende for forsert ventilering. Spesielt for lange tunneler er støv et større problem. Det primære mål blir dermed å redusere støvplagene. Rengjøring og eller salting er de mest anvendte metoder for å bli kvitt støv på, og må vektlegges i større grad. Selv om det tidvis saltes må det gjøres rutinemessig renhold av tunnelvegg og kjørebane. Renhold har også en positiv effekt ved hvite eller lyse tunnelvegger/vegdekker.

Styring av viftene ut fra ytre lufttrykk, dominerende fartsretning mv. er sentrale parametere for en energieffektiv drift.

Energibruken til ventilasjon varierer meget mellom de ulike typer av tunneler. For små og korte tunneler betyr virkningsgrader og optimal utforming relativt lite sett opp mot energibruk til lys. For lange og høyt trafikkerte tunneler vil en energioptimalisering av vifter/motor gi store gevinster.

Berdalstunnelen er et eksempel på en tunnel hvor brukstiden på ventilasjon er lav. Figuren under illustrerer dette på en god måte med jevn basisbelastning og kun et begrenset antall timer med høyt uttak:



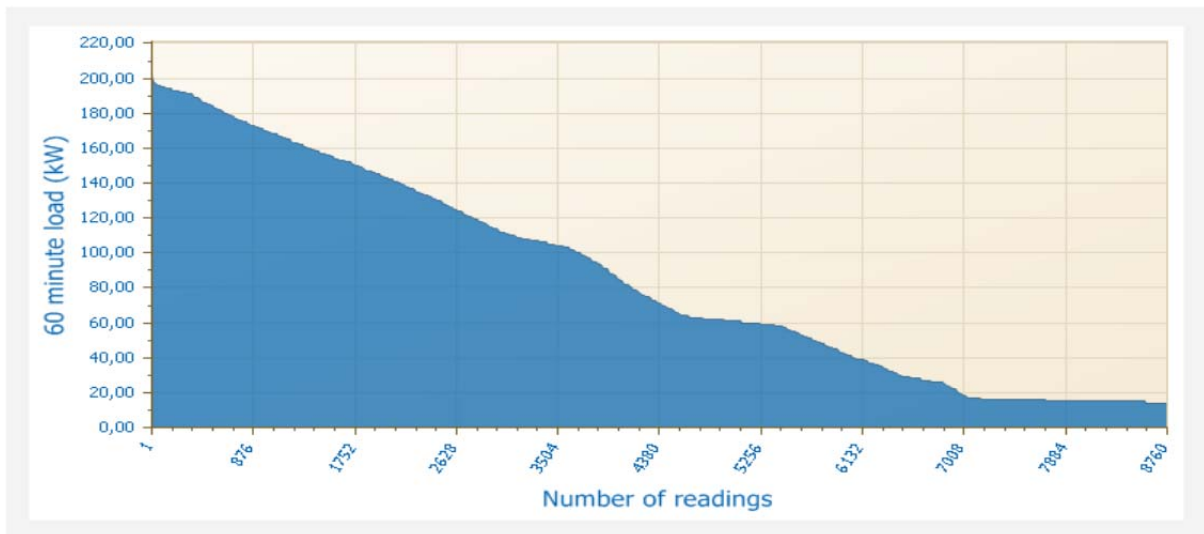
Figur 2 Årlig energiforbruk for Berdalstunnelen 2008, profil kWh/h

Ser man på perioden 2005 til 2009, til sammen 43825 timer, så er det belastning over eller lik 84 kW kun i 1345 t. Forbruket til vifter utgjør da 1,6 % av totalen for perioden. Det sier seg selv at det ikke er lønnsomt å optimere forbruket til ventilasjon her.

Totalt installert effekt til ventilasjon er 716,8 kW, høyeste registrerte uttak i perioden er 244 kW.

- 16 kW vifter - 16 stk
- 28,8 kW vifter - 16 stk
- totalt 716,8 kW

For Oslofjordtunnelen derimot er situasjonen den motsatte. Her utgjør belysning kun en mindre andel mens energibruk til ventilasjon og pumping (forbruket er ikke målt særskilt) utgjør 72 % av totalen.



Figur 3 Årlig forbruksmønster for Oslofjordtunnelen for Sone "Traforom 2", profil kWh/h

Det vil derfor være av langt større betydning at man i Oslofjordtunnelen har energieffektivt pumpe og ventilasjonsutstyr, mens man i Berdalstunnelen må prioritere belysningen.

Ser man på forbruket over hele perioden 2003-2009 og antar at alt forbruk over 30 kW er ventilasjon og pumping utgjør dette hele 72 %. Lys utgjør da det resterende forbruk, kun 28 %. (Det må tas et lite forbehold om at belysning kun er ca 20 kW ved redusert lysnivå og 30 kW ved fullt nivå).

Tallene er:

- Lys 1,2 GWh
- Vifter og pumper 3,1 GWh
- Totalt 4,3 GWh

4.2 Belysning, armaturer

4.2.1 Reaktiv effekt

Reaktiv effekt kan ses på som tap i det totale forbruksbildet. Med dagens nettariffer blir vanligvis ikke sluttforbruker belastet med mindre uttaket er spesielt høyt.

Eldre armaturer er kompensert ved hjelp av en kondensator som etter ca 4 år begynner å avta i virkning. Derfor vil man i eldre installasjoner kunne finne en relativt høy andel av reaktiv effekt. Dagens armaturer er stort sett kompensert for dette elektronisk og vil derfor ikke ha den samme degenererende utvikling. Med nye armaturer som kommer, f. eks LED er det viktig å ha med kravet om at anlegget skal tilfredsstille minimum $\cos \phi$ 0,9. Dette bør være uproblematisk å oppfylle for seriøse og kompetente leverandører i dagens marked.

4.2.2 Lyskilde

Eksisterende tunneler bygget på 60-tallet og fremover benyttet primært en type lyskilde (Lavtrykksnatrium) som i dag er helt uaktuell å benytte på bakgrunn av dens kvalitetsmessige svakheter (dårlig fargegjengivelsesegenskaper, Ra), til tross for konkurransedyktig energieffektivitet (Lm/W). De senere års praksis har vært å benytte en kombinasjon av høytrykksnatrium lyskilder (Nah) og lysrørarmaturer. Den mest vanlige løsningen har vært å benytte Nah-armaturer i innkjøringssonene hvor det er behov for et forhøyet lysnivå for adaptasjon, mens i overgangs og indre soner er benyttet lysrørarmaturer. Disse løsningsvalgene er praktiske med tanke på behovet for høye effekter i inngangssonene hvor Nah-armaturen har hatt sin styrke kontra lysrørene. Det er også i denne sammenhengen dampplampene foreløpig har sin fordel kontra LED-armaturer som er på full fart inn som et godt alternativ i tunnelbelysningen. Foreløpig er LED kun et fullgodt alternativ i indre sone hvor det ikke er behov for en høy installert "lumen-output" i hver armatur.

Fargegjengivelse (Ra) er den tredje faktoren som er ønskelig å ivareta, men som anses som noe mindre avgjørende i en tunnelinstallasjon når det gjelder de direkte synsfysiologiske faktorer. Likevel bør ikke den estetiske faktoren ved fargegjengivelsen ses helt bort i fra.

4.2.3 Mekanisk

I dag innfestes utstyr normalt ved bruk av bolter i tak. Ved full utstøpning kan det innebære risiko for å ta hull på membranen. Det bør derfor vurderes bruk av alternative festemetoder (f.eks tilsvarende Unistrut) for innesting av kabelbruer, ventilasjon m.

Ved bruk av elektronisk forkoplingsutstyr i lysarmaturer vil vekten gå ned. Dette har en positiv betydning for belastning på kabelbru.

4.2.4 Styring

Dagens prosjekteringspraksis har i stor grad vært tilpasset tilgjengelig teknologi. Overgangene mellom innkjøringssonen og de indre sonene har vært beregnet etter en skrittvis henholdsvis ned- og opptrappingsfunksjon, mens CIE publikasjonene (CIE 88, 2004 og CIE 189, 2010) og Vegvesenets håndbok 21 (Statens Vegvesen, 2009) nå refererer en glidende overgang mellom sonene.

En annen faktor er at belysningsinstallasjoner i tunnel alltid har vært beskrevet å være dynamisk avhengig av inngangsportalens luminans. Til tross for dette er det mest vanlig å benytte et luxmeter til å trinne installasjonen kun mellom natt og dag og ikke utnytte nyansene til å finstille tunnelanleggets effekttrekk. Det kan observeres store variasjoner på en inngangsportalens luminans både innen daglige variasjoner i vær, og årstidenes variasjoner i føre.

Med dagens teknologi både for styring/dimming av armaturer og avlesning av dynamisk luminans er det ingen teknisk hindring for et optimalt designet styresystem for belysning.

4.2.5 Lyse vegdekker

Det er observert store variasjoner innen behov for tilført kunstig belysning ved varierende lyshetsgrad på benyttet vegdekke. Dette er like mye en teoretisk utfordring som praktisk.

Dagens retningslinjer for kalkulasjon av luminansnivåer baserer seg på standard verdier for lys eller mørk asfalt. Den lyse blir i veldig få tilfeller benyttet da den ligger i området tilsvarende lys betong. Det gjør at man i de fleste tilfeller benyttet C2-dekke i de dimensjonerende lysberegninger med en korresponderende refleksjonsfaktor (q_0) lik 0,07. Dette gjør at en faktor på 20-30 % for mye lys blir kalkulert ved installasjonstidspunktet.

4.2.6 Lyse tunnelvegger

Lyse tunnelvegger og tunnelrom generelt vil bidra til et økt belysningsnivå og generelt en estetisk forbedring av tunnelrommet. Men som utgangspunkt har det ikke kunnet bidra til en redusert energibruk eller installert effekt. Bakgrunnen for dette er at dagens kalkulasjonsretningslinjer for tunnelbelysning ikke har tillatt å inkludere reflektert eller interreflektert belysning når man kalkulerer resulterende belysningsnivåer. Dette er i ferd med å forandres i retningslinjene og vil være en viktig faktor å ta hensyn til i fremtidig utforming av tunneler.

I tillegg når det gjelder estetiske hensyn vil et lysere tunnelrom, og gjerne en "hvitere" omgivelse, ha synsfysiologiske fordeler når det gjelder førerens opplevelse av anlegget som helhet.

4.2.7 Behovstilpassning, overvåking og styring

Generelt gjelder at det bør legges til rette for behovsstyring av bruken av de tekniske anlegg. Normalt vil redusert bruk innebære lenger levetid eller mindre sannsynlighet for teknisk utfall av utstyret. Og naturlig nok mindre energibruk. Behovstilpassning gjelder spesielt belysning og ventilasjon. Belysningen er særlig påvirket av lysnivået i portal og trafikk tetthet, ventilasjon normalt av trafikk tetthet og lokale lufttrykksforhold.

Statens Vegvesen har selv utført forsøk med dirkete behovstilpassing av belysning i tunneler ved bruk av sensorteknikk til å detektere tilstedeværelse. Dette er først og fremst et alternativ ved lavtrafikkerte tunneler og er prøvd ut i:

- Eiavatn-tunnelen (420 m og en ÅDT på 25). Det er her benyttet induktive sløyfer i vegbanen 50 m før tunnelen, og induksjonslamper til belysningen.
- Nordland og Lofast-forbindelsen i Troms. Her er det valgt å styre kun "nattlyskursen" mens all annen belysning styres som normalt ved Lux sensor som registrerer belysningsnivå utendørs. Det er i dette tilfellet benyttet flere forskjellige typer sensorer i kombinasjon. Det er antatt en potensiell besparelse tilsvarende 60.000 kWh/år.

4.2.8 Tap i kabler

Prosjekterte tverrsnitt på forlagte kabler har en direkte sammenheng med elektriske tap i anlegg. Det er i tidligere utførte analyser vist at i et typisk veglysanlegg, som i denne sammenligningen kan sidestilles med et tunnelanlegg, er tapet i størrelsesorden 1,5-3 % av effekttrekket i anlegget. Dette tallet vil være noe varierende avhengig av utstrekning. Mulig reduksjon ved dimensjonering basert på tap vil her være i størrelsesordenen 0,5-1 %. I de fleste tilfeller vil dette tilsa en for lang tilbakebetaling for merinvesteringen til at dette vil være lønnsomt (Norconsult/Hafslund, 2007).

4.3 Pumper

Med det foreliggende tallmateriale, som normalt omfatter alt forbruk i en tunnel, er det vanskelig å skille ut hvor stor energibruken til pumping av dreinsvann for (undersjøiske) tunneler er. Dette vil jo også variere mye med hvor mye lekkasjevann det er. Erfaringer fra for eksempel kraftstasjoner i fjell er at dette blir betydelig om man får unødvendig høy pumpehøyde. Det er derfor viktig at utløpet føres så lang ned igjen som mulig på utslippsstedet slik at man nyttiggjør seg "hevert virkningen".

Videre er det en fordel å pumpe mot lukket system men dette fordrer tilstrekkelig sikring med tilbakeslagsventil. Pumper bør utføres som tørr- og parallellstilte pumper som kan driftes med god pumpevirkningsgrad, og legges opp til trinnpumping til mellombasseng.

Normalt vil krav til pumpeumpens størrelse gi tilstrekkelig spillerom til å kunne utføre pumping til tider med ellers lav belastning og derigjennom redusert effektkostnad. Videre bør faste sykluser som dette i så fall blir, settes slik at normal gangtid fordeles på to klokke timer om pumpetiden samlet er begrenset til under to timer.

5 REFERANSER

CIE, CIE 88:2004 Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, 2004.

CIE, CIE 189:2010 Calculation of Tunnel lighting Quality criteria, 2010.

Norconsult/Enova, Årlig energiforbruk til utelys i Norge, upublisert 2010.

Norconsult/Hafslund, Analyse av tap i Veilysnettet, upublisert 2007.

Schmidt Bjarne, "Lyse belægningsoverflader i tunneler", Workshop presentasjon, København 16. april. 2009.

Statens Vegvesen, Håndbok 021, Vegtunneler, 2010.

Svenska Vägverket, Ljussättning av broar och tunnelar, 2009.

Vegdirektoratet, "Trinnpumping i undersjøiske tunneler", Teknologirapport 2402, 2005.

Wanvik Per Ole, "Møte om lyse tunnelvegger og lyse vegdekker", Workshop, Oslo 19. desember 2008.

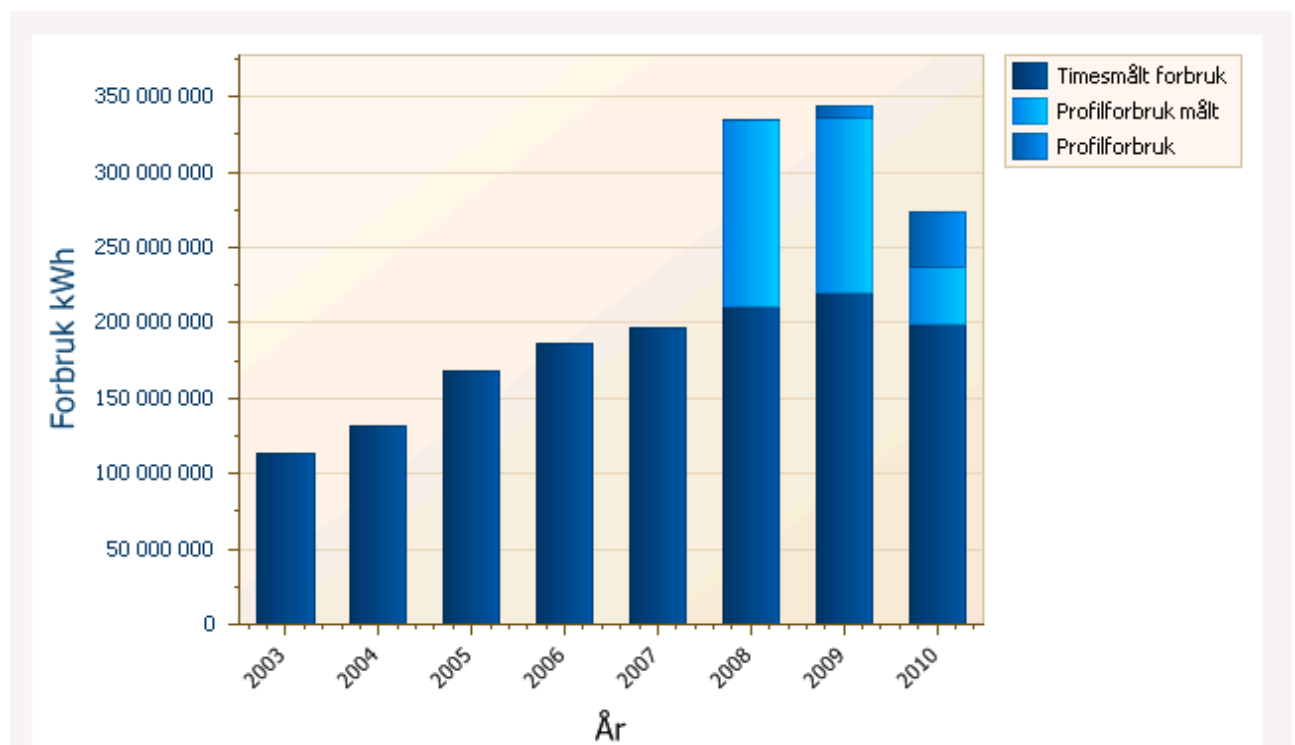
6 APPENDIX

Energibruk og kostnader

Statens vegvesen har et samlet forbruk på i underkant av 350 GWh hvorav ca 220 GWh er timesmålt forbruk dvs større anlegg. De fleste tunneler kommer inn under denne kategorien.

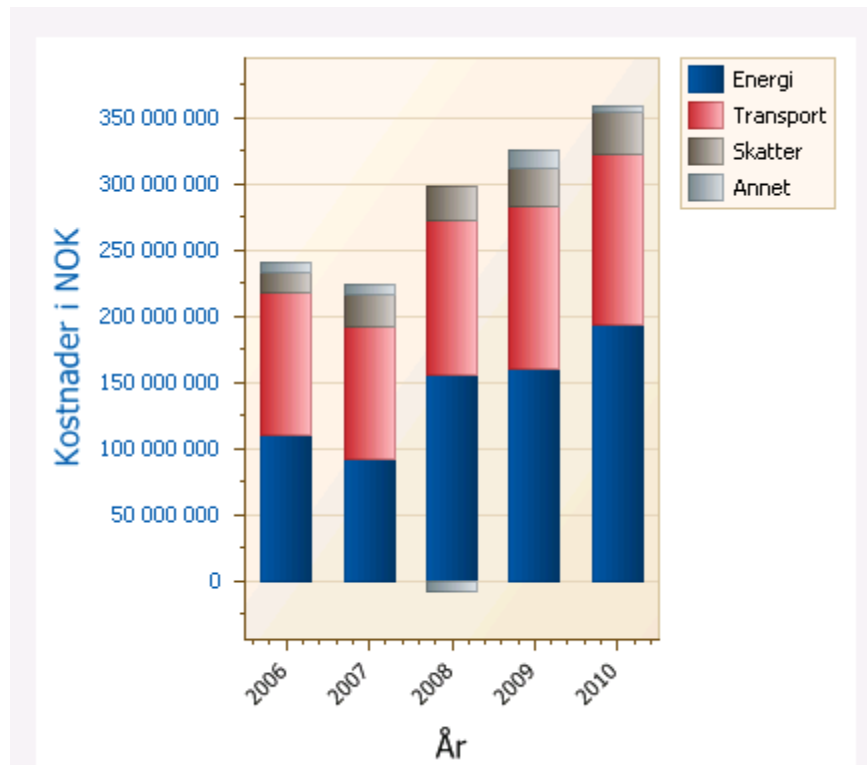
I en studie utført for Enova SF (Norconsult/Enova, 2010) er det anslått at det samlede forbruk til belysning i tunnel utgjør ca 60 GWh. Det er rimelig å anta at dette utgjør ca 70 % av totalen, dvs at det samlede forbruket er i størrelsesorden 80 GWh. Det eksakte tall er det meget tidkrevende å framskaffe, da det i porteføljeforvaltningen ikke er et klart skille mellom energibruk i og utenfor tunnel.

Det finnes god statistikk over historisk forbruk for de aller fleste tunneler. Alle anlegg med et årlig forbruk over 100.000 kWh skal ha timesmåling. Dette gjør det mulig å analysere forbruket mer i detalj, selv om ikke energiforsyningen (i de fleste tilfeller) er skilt mellom f.eks belysning og ventilasjon/vifter.



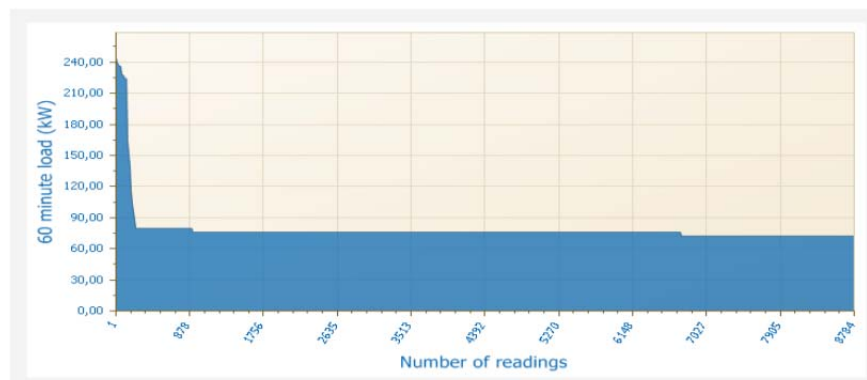
Figur A1 Årlig energiforbruk (kWh) i perioden 2003-2010

Kostnadene variere mye fra år til annet som følge av vekslende energipriser. Men kostnadene til nettleie og effektledd har vært relativt stabile men vil øke noe som følge av økte kostnader fra Statnett gjeldene fra 2010.



Figur A2 Fordeling av kostnad (kr) til nettleie, kraft og avgifter/annet

Som det framgår av grafen over utgjør nettleien mellom 40 og 45 % av totalen. Det er noe høyere enn for f.eks husholdning, men så er også brukstiden relativt lav. Ser man på tunneler med høyere andel driftstid på ventilasjon, som f.eks en av energimålerne til Oslofjordforbindelsen, så er andelen om lag 30 %..

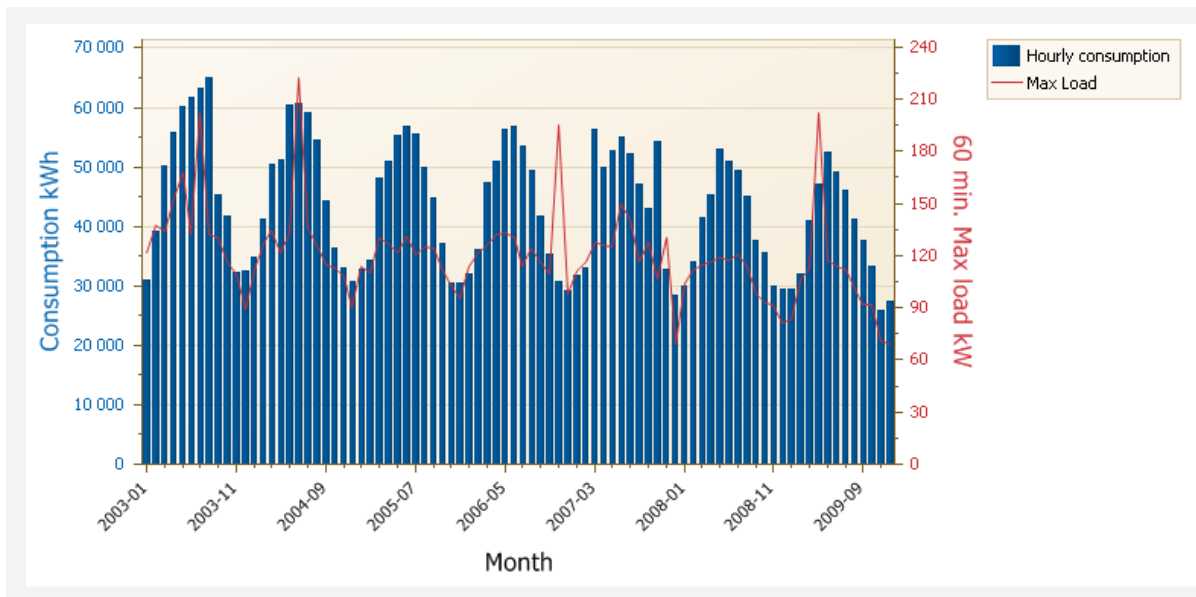


Figur A3 Energi varighetskrurve (kW) Berdalstunnelen 2008

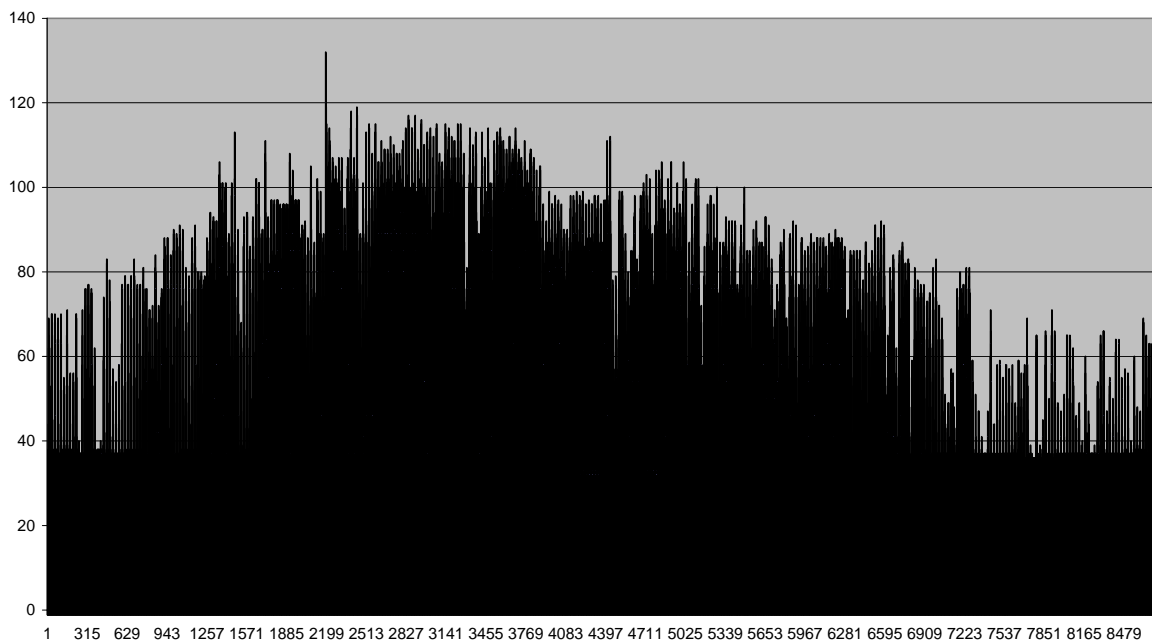
I grafen over er det tatt ut varighetskurve for Berdalstunnelen for 2008. Den viser en relativt kort brukstid (2817 t) og et effektuttak (max) på 244 kW. Samme tunnel hadde året etter en brukstid på 4210 t og et effektuttak på 156 kW.

Ved å se på noen utvalgte anlegg hvor det forefinnes godt teknisk underlag kan man etablere en viss generalisering av forbruks- og kostnadsstrukturen.

Det er under valgt å hente ut forbrukstall for en spesifikk tunnel for å illustrere sammenhengene i energiforbruket. Valgt tunnel er Botnetunnelen - Holmestrand E18 (1374 m årsforbruk ca 460 000 kWh).



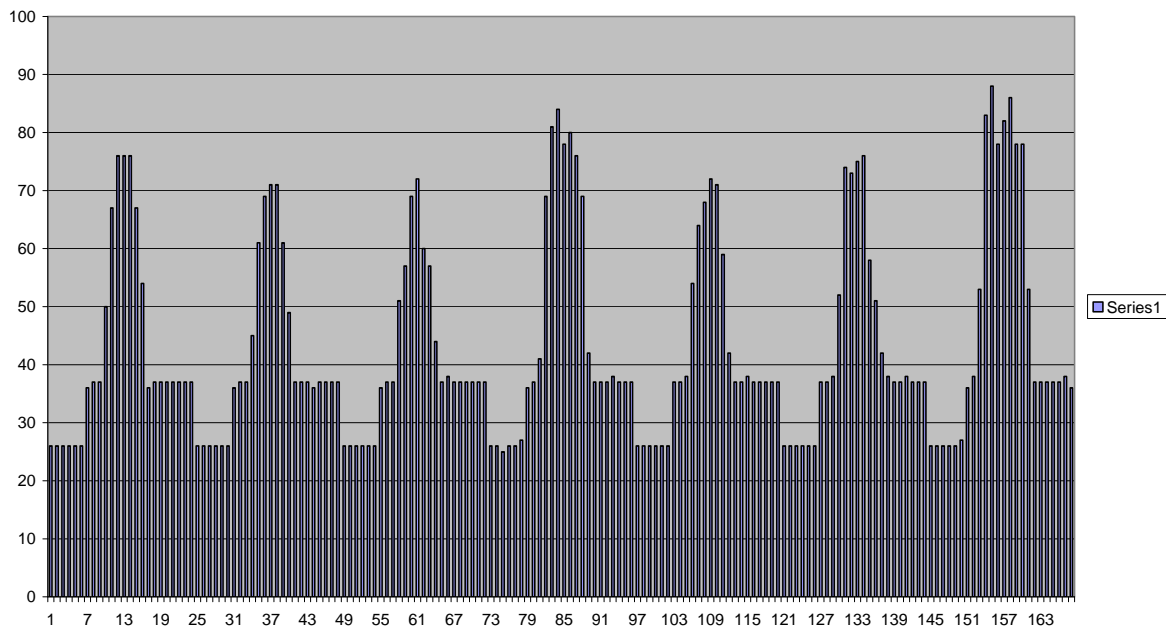
Figur A4 Månedsforsbruk (kWh/døgn samt effektuttak kW) 2003-2009 for Botnetunnelen



Figur A5 Årsprofil på timesbasis (kW) for Botnetunnelen 2009

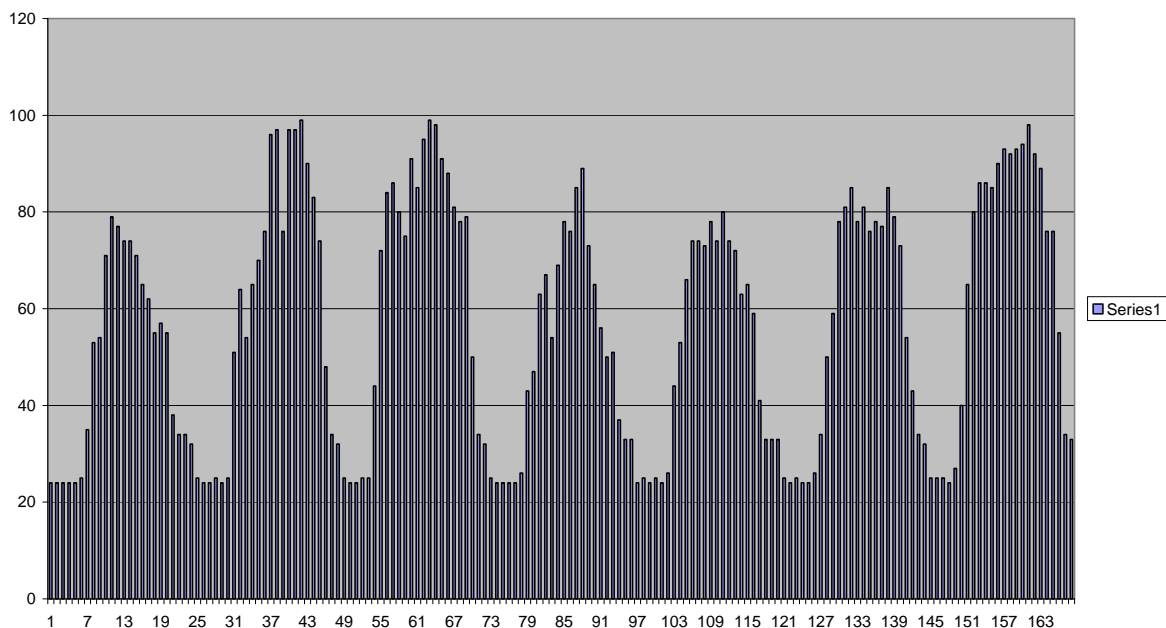
Ser vi på årsprofilen, i figur 5, ser vi tydelig hvordan forbruket øker mot den lysere årstid. Det skyldes trolig økt energibruk til belysning i innkjøringssonene, samt mer til ventilasjon ved høyere trafikkgrunnlag.

Botnetunnelen - 02.02 til 08.02 2009



Figur A6 Typisk forbruksprofil (kW) vinter (mandag til søndag) for Botnetunnelen

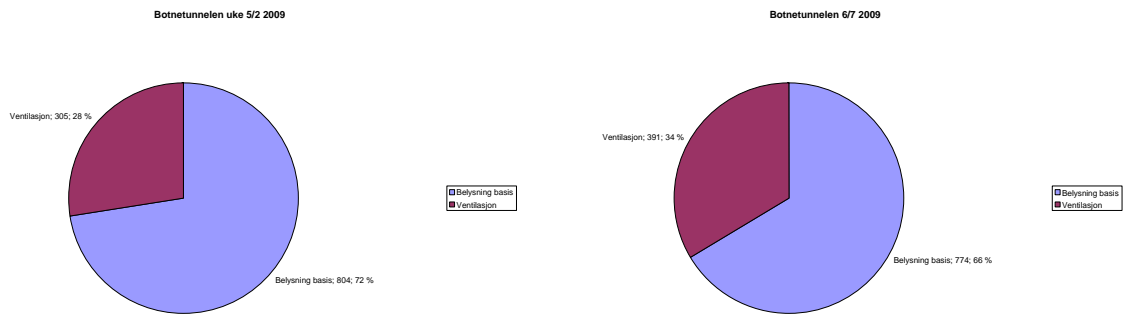
Botnetunnelen mand 6-12 juli 2009



Figur A7 Typisk forbruksprofil (kW) sommer (mandag til søndag) for Botnetunnelen

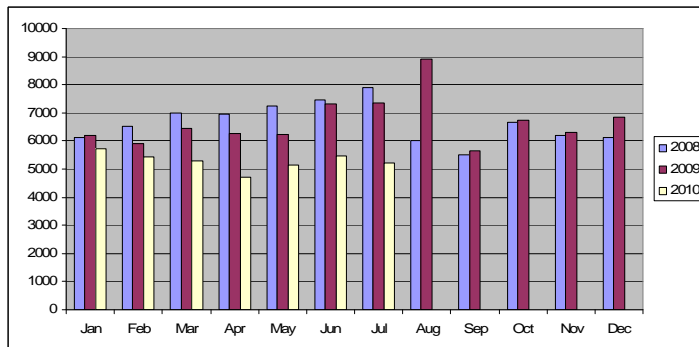
Dersom man ser på fordelingen mellom basis forbruk til belysning, så fordeler det seg med (i dette tilfellet) ca 24 kW basis nattbelysning, og ca 36 kW dagbelysning. Forbruk utover dette antas å være alt vesentlig ventilasjon.

Ser man på den prosentvise fordelingen mellom belysning og ventilasjon, så ser den ut til å være rimelig stabil mellom hhv 66 og 72 % for de utvalgte tilfeldige perioder og med 66 % til belysning som gjennomsnitt for hele året.



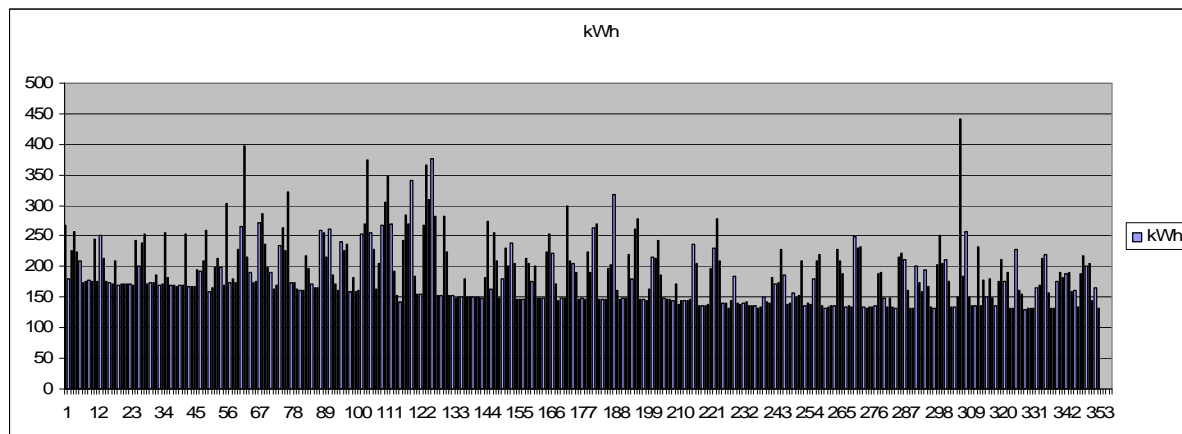
Figur 1 Energifordelingsbalanse (%), vinter (5/2) og sommer (6/7) mellom belysning og ventilasjon for Botnetunnelen

Ser man på en litt mindre tunnel, Fretheimstunnelen kun 80.000 kWh/år vil man få en noe mer påvirkning av høyere snittforbruk til belysning per løpemeter da inngangssonene med sin høye installerte effekt er en større andel av totalen.



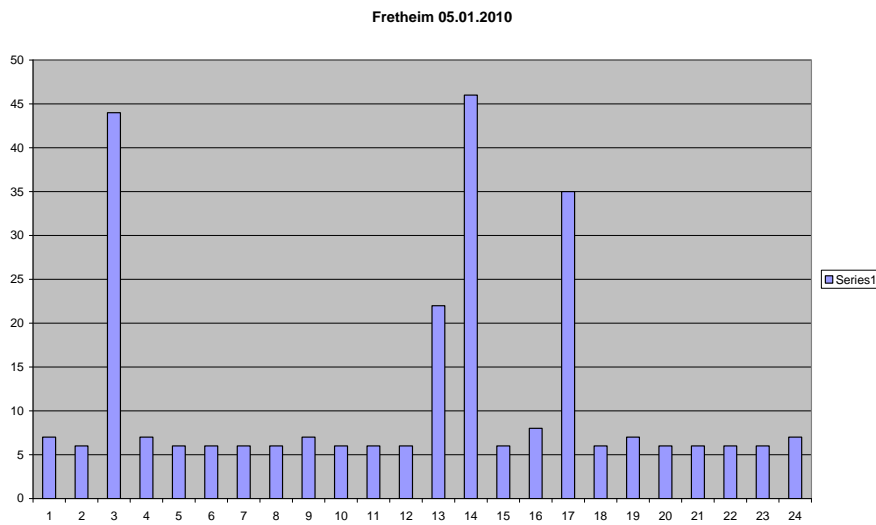
Figur A9 Årlig energiforbruk (kWh/måned) Fretheimstunnelen 2008-2010

Ser man på døgnforbruket, ser man at det er en generell reduksjon i forbruk (mulig forårsaket av midlertidig lampeutfall) samt enkelte dager med mer ventilasjon enn vanlig.



Figur A10 Sommert daglig energiforbruk (kWh/døgn) for Fretheimstunnelen i 2009

En tilfeldig valgt dag kan vise følgende mønster:



Figur 2 Daglig forbruksmønster (kWh/h; kW) Fretheimstunnelen

Her ser man tydelig basisforbruket, ca 5-7 kW. Tilsvarende graf for sommerforbruk viser om lag samme forbruk, noe som tyder på liten variasjon i forbindelse med innkjøringssonene.



Statens vegvesen

Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep
0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162