1 Hensikt og omfang

Kapitlet fastlegger krav til prosjektering av laster på vannsikringskonstruksjoner og tekniske installasjoner. *Med tekniske installasjoner menes det som er listet i kap. 4.1 Generelt.*

For krav til skredoverbygg (snø og ras), portaler og løsmassetunneler, henvises det til Bruer/Prosjektering og bygging.

For prosjektering av stabiltetssikring av tunneler, se kap.10 Stabilitetssikring.

2 ~~Frittstående vann- og frostsikringkonstruksjoner~~

2 Laster på vannsikringskonstruksjoner

2.1 Generelt

Som hovedprinsipp skal det velges en vannsikringsløsning som kan monteres i direktekontakt med bergsikringen. Hovedbegrunnelsen for valget er at løsningene enkelt gir god oversikt over tilstanden på primærkonstruksjonen og global stabilitet, og ved at oppsprekking lett vil kunne oppdages. Installert har slike løsninger ingen mekaniske komponenter som kan feile, og gir med det god kontroll både på sikkerhet og korrektivt vedlikehold.

For oversikt over aktuelle vannsikringsløsninger, se Tunneler/Prosjektering og bygging/Vannsikring.

Kravene i dette kapitlet gjelder for alle typer vannsikringskonstruksjoner, både frittstående og bergnære løsninger.

a) *Det skal utarbeides beregninger som viser at konstruksjonen oppfyller krav gitt i følgende dimensjoneringsregler og de aktuelle konstruksjonsstandardene.*

b) Konstruksjonene skal tilfredsstille de statiske og dynamiske dimensjoneringsforutsetningene.

c) *Beregninger skal sendes til kontroll og godkjenning, se https://trv.jbv.no/wiki/Bruer/Prosjektering_og_bygging/Generelle_tekniske_krav#Kontroll_og_godkjenning*

d) *Laster og grensetilstander mv. skal defineres i samsvar med NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og NS-EN 1991 Laster på konstruksjoner.*

e) *Det skal i hvert tilfelle vurderes om det kan opptre andre laster eller om høyere karakteristiske verdier for angitte laster skal benyttes.*

f) Følgende laster skal alltid vurderes:

1. Permanente laster

- *Egenlast*
- *Egenlast i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)*
- *Innhengt last* (laster fra utstyr som skal henges opp i konstruksjonen)

2. Variable laster

- *Trykk- og suglaster*
- *Generell variabel last*
- *Temperaturendringer*
- *Laster i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)*
- *Vanntrykk i udrenerte tunneler*

3. Deformasjonslaster

- *Svinn og kryp*
- *Setninger*

4. Ulykkeslaster

- *Fall-last*
- *Brannlast*
- *Vanntrykk i drenerte tunneler*
- *Påkjøringslast*

~~Generelt er laster, grensetilstander, symboler m.v. definert i NS-EN 1991 Laster på konstruksjoner~~

~~For lastfaktorer og kombinasjonsfaktorer vises til NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.~~

~~Lastkoeffisienter er gitt i dimensjonerende lastvirkning.~~

~~Laster deles inn i 4 typer:~~

- ~~Permanente laster (egenlast)~~
- ~~Variable laster (nyttelast)~~
- ~~Deformasjonslaster~~
- ~~Ulykkeslaster~~

~~b) Det skal velges konstruksjoner og forbindelser som er godt egnet for vekslende lastvirkning/vibrasjoner. Dette omfatter beregninger som viser at alle krav gitt i de aktuelle konstruksjonsstandarder og spesielle krav gitt i disse dimensjoneringsreglene er oppfylt.~~

~~c) Gitte funksjonskrav skal dokumenteres. Dokumentert langtidserfaring kan erstatte teoretisk dokumentasjon.~~

~~d) For forhold som ikke automatisk er dekket av Norsk Standard eller hvor bruksfunksjonen er vesentlig endret i forhold til Norsk Standard, skal det kreves en spesiell vurdering.~~

~~e) Beregning av temperaturpåvirkninger, svinn, kryp m.v. skal utføres i henhold til de gitte konstruksjonsstandarder.~~

f) Ulykkesituasjonen skal vurderes som beskrevet i ulykke.

g) I hvert enkelt tilfelle skal det vurderes om det opptrer andre laster eller om det skal benyttes høyere verdi for angitte laster.

For prosjektering av laster, se Bruer/Prosjektering og bygging/Laster

2.2 Dimensjonerende lastvirkninger

For de ulike grensetilstander henvises det til NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA2016. For utmattingsgrensetilstand gjelder følgende i tillegg:

Følgende grensetilstander skal kontrolleres:

Bruddgrensetilstanden

a) For dimensjonering i bruddgrensetilstanden skal lastene multipliseres med koeffisienter som angitt i NS-EN 1990:2002/A1:2005+NA:2010, tabell NA.A2.4(A), NA.A2.4(B) og NA.A2.4(C). Kombinasjonsfaktorer Ψ er gitt i NS-EN 1990:2002/A1:2005+NA:2010, tabell NA.A2.3.

Bruksgrensetilstanden

a) For lastkoeffisienter i bruksgrensetilstanden anvendes NS-EN 1990:2002/A1:2005+NA:2010, tabell NA.A2.6. Kombinasjonsfaktorer er gitt i NS-EN 1990:2002/A1:2005+NA:2010, tabell NA.A2.3.

Utmattingsgrensetilstanden

a) Alle laster som virker i denne tilstand gis lastfaktor 1,0.

b) Karakteristiske trykk- og suglaster er gitt i Tabell 2.

c) For en enkeltsporet tunnel skal konstruksjonen dimensjoneres for det antall lastvekslinger som er gitt i tabell 1.

d) For en dobbeltsporet tunnel skal konstruksjonen dimensjoneres uavhengig av togtetthet for $1 \cdot 10^7$ lastvekslinger. Vekslingstallet er en ekvivalent togtetthet, hvor det er tatt hensyn til at togmøter har vesentlig betydning.

Tabell 1: Lastvekslinger for enkeltsporet tunnel

Togtetthet (antall tog pr. døgn)	Antall lastvekslinger
inntil 50	$2 \cdot 10^6$
50-150	$5 \cdot 10^6$
over 150	$1 \cdot 10^7$

Ulykkesgrensetilstanden

Alle laster i denne som virker i denne tilstanden gis lastfaktor 1,0.

2.3 Permanente laster

NS-EN 1990-2002+A1-2005+NA-2016 1.5.3.3 og 4.1.1 og NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 pkt.5.

2.4 ~~Nyttelast~~Variable laster

2.4.1 *Trykk- og suglaster*
2.4.2 *Generell variabel last*
2.4.3 *Temperaturendringer*
2.4.4 *Laster i midlertidige faser (produksjon, transport og montasje)*
2.4.5 *Vanntrykk*

2.4.1 Trykk- og suglaster

~~Trykk og sug fra trafikk er en variabel last.~~

~~a) Frittstående hvelvkonstruksjoner, dører og andre tette luftfylte installasjoner skal dimensjoneres for trykk-/suglast som virker over hele tverrsnittet.~~

Karakteristiske trykk- og suglaster er gitt i tabell tabell 2.

Tabell 2: Karakteristiske trykk- og suglaster

Last fra togtrafikk	Enkeltsporet tunnel (kN/m^2)	Dobbeltsporet tunnel (kN/m^2)
V ≤ 200 km/h	±3	±4
200 < V ≤ 250 km/h	±4	±5

Forutsetninger:

- Enkeltsporet tunnel med tverrsnitt 50-60 m^2
- Dobbeltsporet tunnel med tverrsnitt 90-100 m^2
- Ballastspor
- ~~Helisolert såle~~
- Ingen trykkavlastning

b) Størrelsene av trykk- og suglaster skal vurderes spesielt ved:

- Fastspor
- Avvik fra forutsatt tunneltverrsnitt
- Avvik fra forutsatt hastighet
- ~~Traktformede portalsoner og/eller sjakter~~

2.3.2 Komfortkriterier -> Dette er ikke en last. Flyttes til Profiler og minste tverrsnitt

c) Minimumskrav til komfort:

- 3 kPa/4s for enkeltsporstunnel
- 4,5 kPa/4s for dobbeltsporstunnel

Idet et tog kjører inn gjennom en tunnelmunning skapes det en rask trykkendring. I tillegg til denne effekten av entringen vil togets følgetrykk skape et undertrykk langs sidene av toget mens det går gjennom tunnelen. Slike trykkendringer kan påvirke komforten inne i togene. Store trykkendringer på innsiden av en vogn kan føre til ubehag og i ekstreme tilfeller skader på passasjerer og ansatte. Man kan treffe ulike tiltak for å tilfredsstille komfortkravet slik som tiltak på rullende materiell, hastighetsnedsettelse i tunnel, økning av tunneltverrsnitt, utforming av portal, trykkavlastningssjakter o.l.)

TSI-helsekriterium:

Den europeiske spesifikasjonen for samtrafikkevne for høyhastighetstog stiller krav til at trykkendringer ikke må overskride 10 kPa. Denne verdien gjelder selv for en fullstendig svikt i togets tetting (f.eks brutt vindu) og passering av to høyhastighetstog. En trykkendring på 10 kPa skjer kun ved svært høye hastigheter over 300 km/h, og spesielt uheldige superponeringer av trykkbølger. Helsekriteriet kan betraktes som en absolutt grenseverdi, og ikke en verdi man primært dimensjonerer etter. For lavere trykkendringer er komfortkriterier knyttet til individuell oppfatning.

~~**Generell nyttelast 2.3.2**~~

2.4.2 Generell variabel last

a) Generell variabel last skal sikre tilstrekkelig kapasitet i konstruksjonen for å ivareta usikkerheter i variabel last som f.eks. islast.

~~a) Generell nyttelast skal sikre en økt kapasitet i konstruksjonen for å ivareta forhold som islast, fallast og spesielle forhold knyttet til trykk-/suglaster fra trafikk.~~

b) Generell ~~nytte~~ variabel ~~last defineres som variabel last. Størrelsen~~ settes til q_g = 3,0 kN/m^2

c) Lasten skal regnes som en jevnt fordelt last virkende på horisontal- og/eller vertikal-projeksjonen av konstruksjonen.

d) Lasten skal påføres symmetrisk og kun på den ene halvdelen av tverrsnittet.

~~For prosjektering og beregning av nyttelast vises til Bruer~~

~~**Innhengt last**~~

~~Innhengte laster er laster fra kontaktledning, skilt og annet utstyr som henges opp i konstruksjonene. Innhengt last defineres som variabel last.~~

~~Laster fra ventilatorer blir normalt ført til berg.~~

~~a) I tillegg til egenlast skal det tas hensyn til vindlast som følger av vindtrykk på utstyret.~~

~~b) Vindlasten skal beregnes iht. tekniske installasjoner, vindlast på frittstående utstyr.~~

2.4.3 Temperaturendringer

a) For termiske påvirkninger, henvises det til NS-EN 1991-1-5:2003+NA:2008.

2.4.4 Laster i midlertidige faser

a) Karakteristiske verdier av egenlast og laster i midlertidige faser som produksjon, transport og montasje skal bestemmes i henhold til NS-EN 1991-1-6:2005+NA:2008.

2.4.5 Vanntrykk i udrenerte tunneler

a) For udrenerte tunneler skal det dimensjoneres for fullt hydrostatisk vanntrykk i alle kombinasjonstilfeller.

2.4.6 Vanntrykk i drenerte tunneler

a) Borede tunneler:

1. For drenerte vannsikringskonstruksjoner skal vanntrykksinduserte laster anses som neglisjerbare
2. For udrenerte vannsikringskonstruksjoner (f.eks. sprøytebeongkledning vanntettet med sprøytbar membran) skal det i utgangspunktet dimensjoneres for fullt hydrostatisk vanntrykk. For tekniske løsninger med selektive drenstiltak (f.eks. drenskanaler, drensstriper, drenshull o.l.) skal en analyse av vanntrykkssituasjonen legges til grunn for dimensjoneringen.

b) Sprengte tunneler:

1. For drenerte vannsikringskonstruksjoner anses vanntrykksinduserte laster som neglisjerbare
2. For udrenerte vannsikringskonstruksjoner (f.eks. sprøytebeongkledning vanntettet med sprøytbar membran) skal det i utgangspunktet dimensjoneres for et sprekkevanntrykkstrykk i bergmassen nær tunnelkonturen på 200 kPa for teoretisk hydrostatisk trykk 1 MPa. For større hydrostatiske trykk skal sprekkevannstrykket nær tunnelkonturen verifiseres ved feltforsøk eller spesielle analyser.

Læreboktekst: Sprekkevannstrykket,p, nær tunnelkonturen i en sprengt tunnel vil påvirkes av den hydrauliske konduktiviteten, k, i sprengningsskadesonen (Excavation Damaged Zone, EDZ). Målinger viser at k i EDZ øker betydelig innenfor en avstand på ca. 1 m fra tunnelkonturen. Dette vil gi en reduksjon av p.

2.5 Deformasjonslaster

Viser til NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016, pkt.4.1.1.

2.6Ulykkeslaster

2.6.1 Fall-last

a) Lasten skal påføres vertikalt med størrelse 60 kN. Hvis vannsikringsløsningen muliggjør inspeksjon (enten bak løsningen eller fra tunnelrommet), kan kravet fravikes.

2.6.2 Brannlast

Jf. TSI SRT 4.2.1.2 a) Ved brann skal tunnelkledningen (vannsikringsløsningen) være brannbestandig i et tidsrom som er tilstrekkelig langt til at passasjerer og personale kan redde seg selv eller evakueres, og til at redningstjenestene kan utføre sitt arbeid. Dette tidsrommet skal være i samsvar med evakueringsscenarioene som er inntatt og beskrevet i beredskapsplanen.

2.6.3 Påkjøringslast

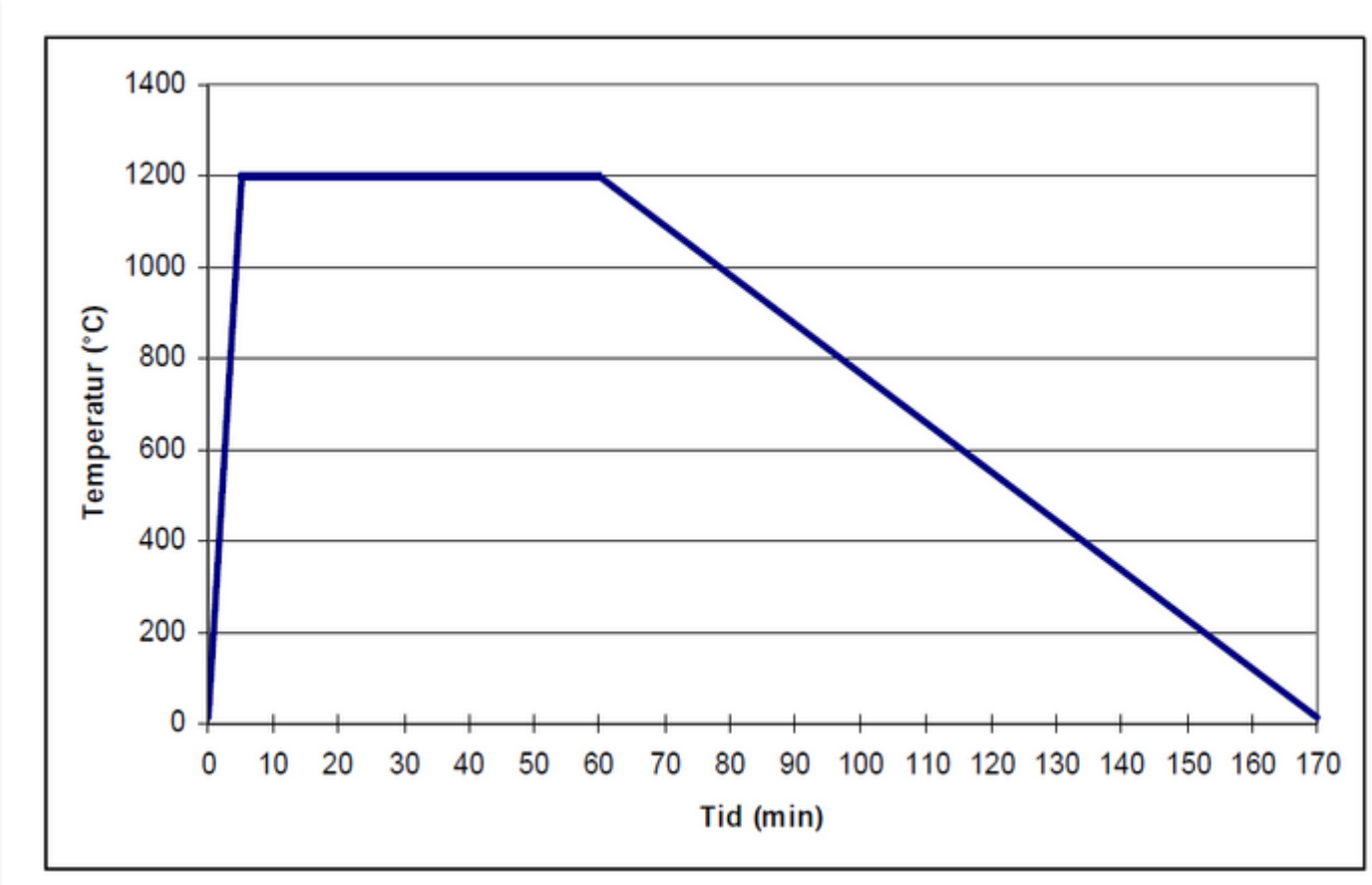
a) Risiko og konsekvens ved en eventuell avsporing skal vurderes spesielt for det enkelte prosjekt. For krav til laster, se NS-EN 1991-1-2-2003+NA-2010 6.7 og NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008, 4.5 og Bruer/Prosjektering og bygging/Laster/Ulykkeslaster.

~~2.4 Ulykke~~ *Se endringer over. En bergtunnels bæreevne vil være intakt selv om vannsikringsløsningen skulle bryte sammen). Dette kravet /4.2.1.1 b) i TSI SRT skal verifiseres for tunneler der tunnelkledningen er en bærende konstruksjon, dvs. henvis til Bruer/Prosjektering og bygging der dette kravet legges inn.*

~~a) Det skal foretas en helhetsvurdering av konsekvenser og konstruksjonens virkemåte i ulykkessituasjonen. Her inngår også en vurdering av konsekvenser når deler av konstruksjonen fjernes (brutt sammen).~~

~~b) Konstruksjonen skal være utformet på en slik måte at skadeomfanget er begrenset til ulykkesstedet.~~

~~c) I tilfeller der tunneler kan føre til sammenbrudd av viktige nærliggende strukturer, skal tunnelens ferdige overflate motstå temperaturen i en brann i en gitt periode som tillater evakuering av de truede tunnelområder og nærliggende strukturer. Denne tidsperioden skal avklares i beredskapsplanen. Den angitte kurven for temperatur/tid, EUREKA-kurven, er vist i figuren nedenfor. Denne skal bare benyttes til betongkonstruksjoner.~~



Figur 1: Temperatur-tid kurve (EUREKA-kurve)

~~2.4.1 Ekstrem blokklast – se fallast~~

Hvis vann- og frostsikringskonstruksjonen umuliggjør inspeksjon av det bærende hovedsystemet, skal konstruksjonen dimensjoneres for lasten av en ekstrem blokk. Lasten forutsettes vertikal med størrelse 60 kN.

3 Påkjørselslaster *Gjelder ikke for tunneler i berg. Dette er dekket i Bruer/Prosjektering og bygging*

Klassifisering av konstruksjoner:

- Klasse A-konstruksjoner: Huser generelt et betydelig antall mennesker og gjerne over flere etasjer. Dette kan være bolighus, kjøpesenter, kontorbygg, møtelokaler og lignende.

- Klasse B-konstruksjoner: Konstruksjoner, dvs. 1-etasjes konstruksjoner hvor det normalt oppholder seg få mennesker. Eksempel kan være veier, parkeringsplasser og enkle lagerbygg.

a) Bærende konstruksjoner skal plasseres 4 m eller mer fra spormidt til nærmeste spor.

b) Alle krefter skal påføres i en høyde av 1,8 m over spormidt.

Hvis de bærende konstruksjoner plasseres på en beskyttende plattform, rampe eller sokkel med høyde minimum 600 m over skinneoverkant, kan beregningsavstanden d fra spormidt økes med 2 m.

Krav til påkjørselslaster for klasse A- og klasse B-konstruksjoner er angitt i tabeller nedenfor:

Kraft parallelt med sporet, F:

Hastighetsområde	
< 50 km/h	50-120 km/h
3000 kN - 300•d kN	8000 kN - 800•d kN

d=konstruksjonens avstand fra spormidt

Kraft vinkelrett på sporet, F_T:

Hastighetsområde	
< 50 km/h	50-120 km/h
1500 kN - 150•d kN	3000 kN - 300•d kN

d=konstruksjonens avstand fra spormidt

Hastighet > 120 km/h

- Ved overbygging av spor med hastighetsstandard > 120 km/h bør det gjennomføres en spesifikk risikoanalyse for å fastsette dimensjonerende krefter og virkeområde.

- ~~Påkjørselslastene skal minst være av samme størrelse som for hastigheter i området 50-120 km/h~~

4 Tekniske installasjoner~~, vindlast på frittstående utstyr~~ Dette kap. gjennomgås senere

4.1 Generelt

a) Alt utstyr som monteres i tunneler skal dimensjoneres for egenlast og nyttelast fra de vindlaster som oppstår ved passering av tog.

b) I hvert enkelt tilfelle skal det vurderes om det opptrer andre nyttelaster.

c) Vindlastene skal beregnes ut fra opptredende lufthastigheter. Det må tas hensyn til lufthastigheten i tunnelens lengderetning og i tverretningen.

Følgende konstruksjoner i tunneler er utsatt for vindlaster:

- Kontaktledning og kontaktledningsoppheng
- Signallys
- Skilt
- Lysarmatur
- Andre konstruksjoner

Vindlaster er en variabel last.

d) Vindlast på konstruksjoner skal beregnes etter NS-EN 1991-1-4.

e) Kraft på konstruksjonselementet skal beregnes etter NS-EN 1991-1-4, og følgende formel skal benyttes: $F = c \bullet q \bullet A(N)$

c er en formfaktor

kontaktledning:	c = 1,2
kontaktledningsoppheng:	c = 0,9
skilt/signallys:	c = 1,15
skiltstang:	c = 1,2

q er hastighetstrykket: $q = 0{,}5 \bullet \rho \bullet U^2_{dim}$

- $\rho = 1{,}25\ kg/m^3$

A er arealet av konstruksjonen

4.2 Lufthastighet i tunnelens lengderetning

Lufthastighet i lengderetningen U_{dim} finnes i Figur 2. Blokkeringsgraden, β, er gitt som arealforholdet mellom tog og tunnel:

β er arealforholdet A_{tog}/A_{tun}

For dobbeltsporet tunnel er blokkeringsgraden gitt som:

$\beta = (A_{tog1} + A_{tog2})/A_{tun}$

Vindhastigheten skifter retning for hver togpassering.

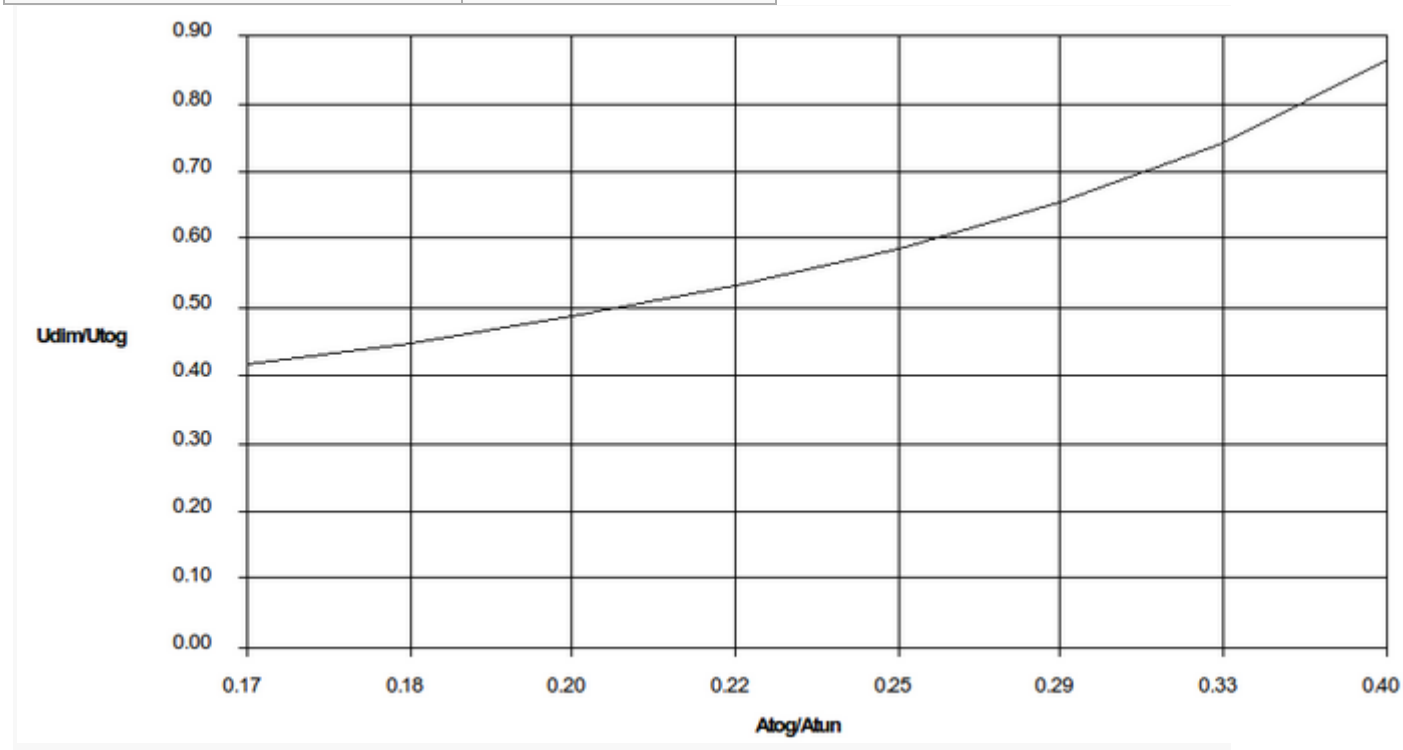
Figur 2 gjelder når de tekniske installasjoner ikke står nærmere enn 0,5 m fra minste tverrsnitt, jf. kapittel 5. For utstyr montert nærmere enn 0,5 m fra minste tverrsnitt øker vindhastigheten i togretningen lineært opp til toghastigheten.

Vindhastigheten mot togretningen skal ikke økes.

Antall lastvekslinger tas ut fra Tabell 3. Tabellen gjelder både for enkelt- og dobbeltsporet tunnel.

Tabell 3: Lastvekslinger for vindlast på tekniske installasjoner

Togtetthet. Antall tog pr. døgn.	Antall lastvekslinger
Inntil 50	$2 . 10^6$
50 – 150	$5 . 10^6$
Over 150	$1 . 10^7$



Figur 2: Maksimal lufthastighet i enkelt- og dobbeltsporet tunnel

4.3 Lufthastighet i tunnelens tverretning

a) Lufthastigheten i tverretning skal settes lik 30 % av toghastigheten. Dette gjelder uavhengig av avstanden mellom tog og tekniske installasjoner.

b) Vindlasten skal regnes virkende over en lengde på 10 m i hver ende av toget, som trykk ut fra toget ved front og sug inn mot toget ved togets ende.

Antall lastvekslinger tas ut fra Tabell 3.