

7 Konstruksjonsregler generelt

7.1 Konkurransedyktighet for aluminiumkonstruksjoner

Som konkurransedyktig industriprodukt må aluminiumkonstruksjoner gi kjøperen eller brukeren fordeler som tilsvarende produkter fremstilt av andre materialer ikke har. Industriprodukter bedømmes hovedsakelig etter forholdet mellom pris og nytteeffekt eller bruksverdi. Forhold som godt utseende, moteriktighet etc., vurderes også, men i mindre grad. For å konstruere et produkt med høy nytteeffekt eller bruksverdi, må vi kjenne markedets behovet. Dette må så vurderes mot aluminiums spesielle egenskaper for å gi et konkurransedyktig produkt.

Aluminium som industrielt fremstilt massemetall er omtrent like gammelt som armert betong. Det har delvis fortrenget det "gamle" materialet stål. Aluminium har muliggjort produkter som var utenkelig i andre materialer. Da disse produktene relativt sett er nye, blir aluminium oppfattet som et nytt eller "ungt" materiale.

For et stort antall produkter spiller forholdet mellom pris, styrke og vekt hovedrollen. I forhold til sine viktigste materialkonkurrenter, stål og plast, kan vi generelt si:

ALUMINIUM	sterkt	lett	dyrt
STÅL	sterkt	tungt	billig
PLAST	svakt	lett	billig

Aluminiumkonstruksjoner benyttes ofte i stedet for stålkonstruksjoner. Konstruksjonsregler har derfor ofte en tendens til bare å sammenligne med stål. En slik sammenligning er berettiget hvis det bare er stål eller aluminium å velge imellom, og særlig berettiget er den hvis det er en stålkonstruktør som skal bli aluminiumkonstruktør.

For den som skal lære å konstruere, er det viktigere å forstå hva aluminium er enn å vite hvordan det skiller seg fra stål.

Aluminium og stål er begge metalliske materialer. Mange konstruksjonsregler må derfor bli like.

7.2 Lav tetthet kombinert med høy strekkfasthet

Aluminiums tetthet er bare $2,7 \text{ kg/dm}^3$, dette tilsvarer ca. $1/3$ av tettheten til stål. De konstruksjonslegeringer som benyttes for bærende konstruksjoner, har bruddfasthet i samme størrelsesorden som de vanlige karbon stålene. Hvis konstruksjonselementet er strekkbelastet, gjelder da at aluminiumkonstruksjonen bare veier $1/3$ av tilsvarende stålkonstruksjon. Om en konstruksjon med konstruksjonselementer som er utsatt for strekkbelastning belastes med egenvekt og nyttig last, så kan nyttelasten være større for en konstruksjon i aluminium enn i stål.

Hvis en konstruksjon har en gitt belastning som ikke endres med spennvidden, så øker aluminiumkonstruksjonens konkurransekraft i forhold til tyngre materialer når spennvidden øker.

Regel:

De optimale spennvidder som gjelder for tyngre materialer, gjelder ikke uten videre for aluminiumkonstruksjoner.

7.3 Lav elastisitetsmodul kombinert med høg strekkfasthet

Elastisitetsmodulen for aluminium er 70.000N/mm^2 , tilsvarende ca. 1/3 av stålets. Aluminiums lave elastisitetsmodul kombinert med høg strekkfasthet fører til at det kan oppstå stabilitetsproblemer. Videre kan vi få alt for store nedbøyninger ved bøyebelastede konstruksjoner. Eksempler på instabilitet er: Plan knekking, torsjons(vridnings-)knekkning, vipping og buckling.

1 Plan knekking

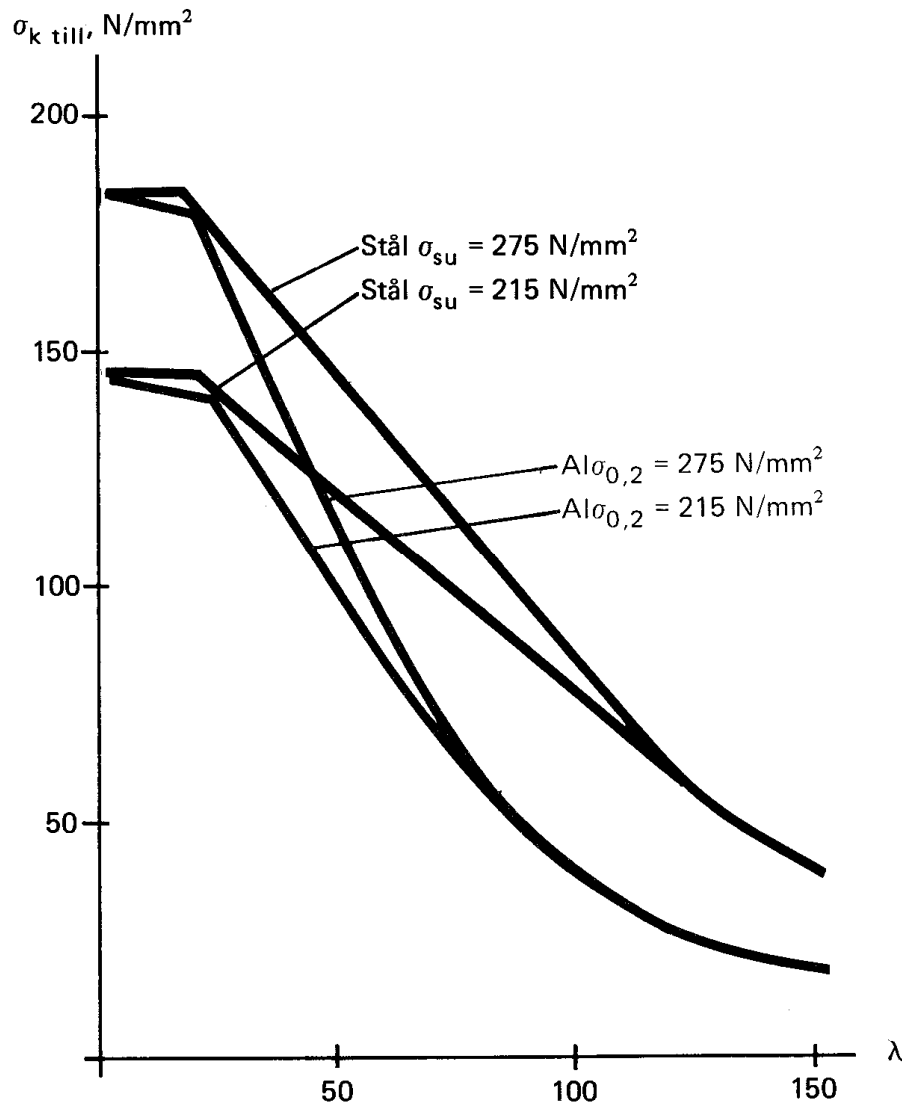
I trykkpåkjetne konstruksjoner er det i stor grad elastisitetsmodulen, E, som bestemmer bæreevnen. For ideelt rette staver i det elastiske området er knekkingsspenningen bare avhengig av slankhet og E-modul.

$$\text{Knekkingsspenning } \sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

hvor:

$$\begin{aligned} \text{- slankhet} \quad \lambda &= \frac{L_k}{i} = \frac{\text{knekk lengde}}{\text{treghetsradius}} \\ \text{- treghetsradius} \quad i &= \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\text{arealtreghetmoment}}{\text{tverrsnittsareal}}} \end{aligned}$$

I det såkalte elastisk-plastiske området er knekkingsspenningen avhengig av en kombinasjon av E-modul og flytegrense, $\sigma_{0,2}$, se Fig. 7.1



Figur 7.1

Forhold mellom tillatt knekkingsspenning og slankhet (10)

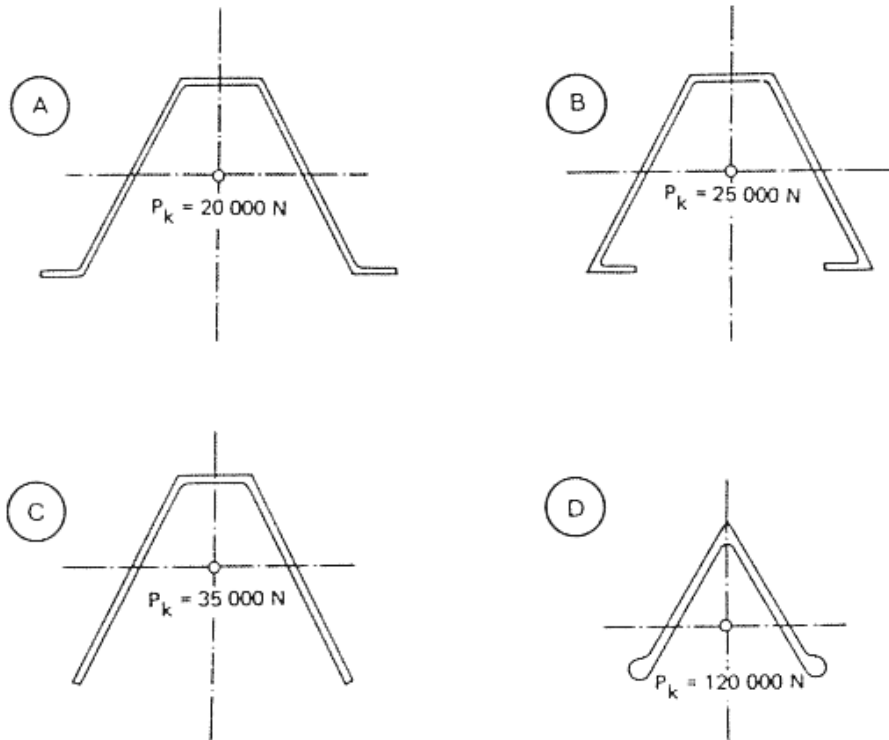
Figur 7.1 viser att:

- tillatt knekkingsspenning minsker hurtig med økende slankhet.
- ved $\lambda_{Al} > 70$ gir en sterkere legering ikke noen nevneverdig økning av tillatt knekkingsspenning
- ved $\lambda_{Al} > 100$ gjelder samme forholdet
- vi bør streve etter å ha lave verdier på slankhet, ettersom tillatt knekkingsbelastning $P_k = \sigma_{k\text{ till}} \cdot A_{stav}$, der A er stavens tverrsnittsareal.

Konstruksjonsmessig innebærer dette att vi bør velge profiler med passende materialfordeling innenfor tverrsnittet (stor kjernebredde) eller at lengde på stangen reduseres ved valg av passende konstruksjonssystem (f.eks. kryssende strekk- og trekkstenger med innbyrdes forbindelse).

Figur 7.2 viser 4 forskjellige trykkbelastede staver med samme tverrsnittareal, men med forskjellige tverrsnittformer. Ved å plassere materialet i tverrsnittet på de rette stedene, kan det gi store utslag i den trykkraften som tillates før fare for knekking, P_k .

Knekkingslasten kan skrives som: $P_k = \frac{\pi^2 E}{l^2} I$

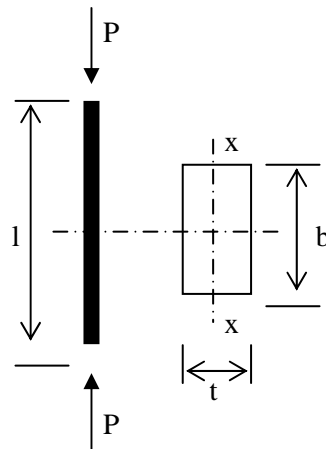


Figur 7.2

Knekkingslasten, P_k , ved forskjellige utforminger av tverrsnittarealet for 4 like lange staver. Tverrsnitt arealene forårsaker forskjellige arealtrehetsmomenter, I . Jo større I , jo større P_k . (10)

Eksempel.

En stav med rektangulært tverrsnitt areal $b \cdot t$ og lengde l , utsettes for en trykkbelastning P . Staven vil eventuelt knekke om akse $x-x$.



Figur 7.3

Rektangulær stav utsatt for trykkraft P .

Knekkingsspenningen

$$\underline{\sigma_k} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 E}{l^2} = \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{Et^2}{l^2} = \underline{K \cdot E \frac{t^2}{l^2}}$$

$$\frac{bt^3}{12bt}$$

hvor $K =$ konstant

Vi skal nå sammenligne aluminium med noen andre materialer. Anta, for sammenligningens skyld, at lengden, l , er konstant og at stavtykkelsen, t , og vekt / flateenhet settes til 1 for stål. Vi kan da sette opp følgende tabell når spenningen i staven er σ_k .

materiale	E-modul (kN/mm ²)	t	vekt / flateenhet
Stål	210	1	1
Aluminium, Al, -legering	70	1,73	0,6
Magnesium, Mg, -legering	47	2,11	0,49
Titan, Ti, -legering	110	1,38	0,8

Vektbesparelsen ved å bruke aluminium i dette tilfellet er 40%

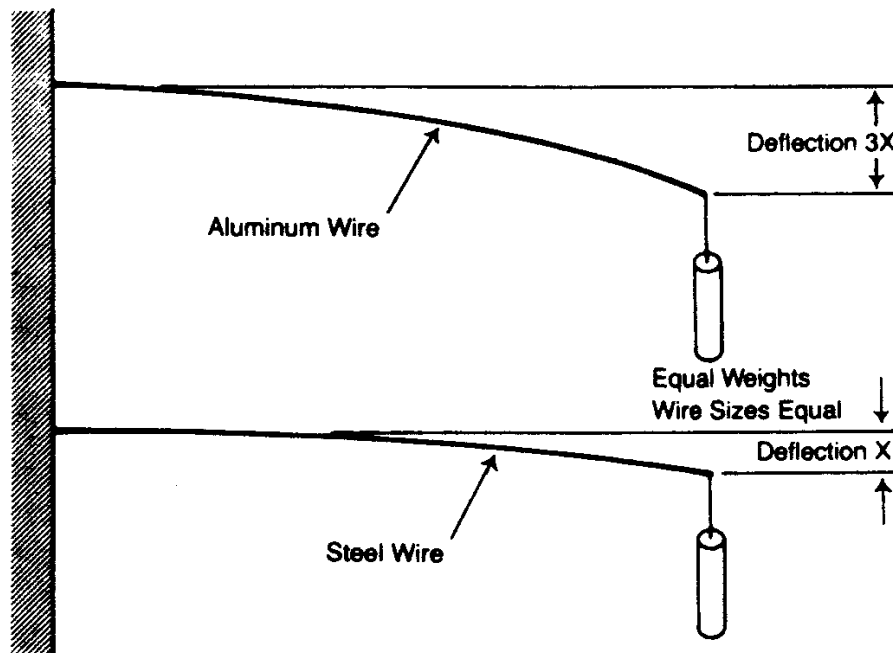
Regel:

For konstruksjoner som er utsatt for trykkbelastning må vi prøve å få så lav slankhet som mulig. Slankheten bør være lavere jo høyere materialets bruddfasthet er, slik at vi utnytter materialets best mulig.

2 Bøyebelastede konstruksjonselementer

For konstruksjoner som er utsatt for bøyebelastning, innebærer den lave elastisitetsmodulen til aluminium en stor nedbøyning i forhold til en identisk konstruksjon i stål.

Figur 7.4 viser dette.



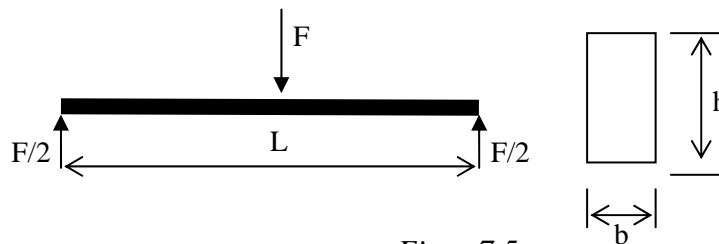
Figur 7.4

Sammenligning av E-modulene for aluminium og stål. Stengene er like i utseende, og er utsatt for samme vekt.

Når en konstruksjon utføres i aluminium eller et annet lettmetall, er det først og fremst for å spare vekt. Rent styrkemessig kan vi oppnå store vektbesparelser, men hvis nedbøyning blir dimensjonerende, må vi ta hensyn til den reduserte E-modulen.

Eksempel.

En bjelke som vist i Figur 7.5, er fritt opplagret i hver ende og belastet på midten med en kraft F. Arealverrsnittet er rektangulært med bredde b og høyde h.



Figur 7.5
Bjelke belastet på midten med kraft F.

Nedbøyningen f, som er størst midt på bjelken, kan skrives som

$$f = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{K}{EI}$$

Hvor K er en konstant avhengig av bjelkens opplagring, ytre last, egenvekt og lengde.

Bjelkens nedbøyning er avhengig av produktet EI. Dette kalles bjelkens stivhet.

For lettere å kunne foreta sammenligning med bruk av forskjellige materialer, setter vi b = konstant = 12.

Vi setter så dette inn i uttrykket for arealtregningsmomentet i nedbøyningsligningen.

$$f = \frac{K}{E \frac{bh^3}{12}} = \frac{K}{E \frac{12h^3}{12}} = \frac{K}{Eh^3}$$

Vi har nå et uttrykk for bjelkens nedbøyning avhengig av materiale (E-modulen) og bjelkens høyde h. Lengden L og bredden b, holdes konstant.

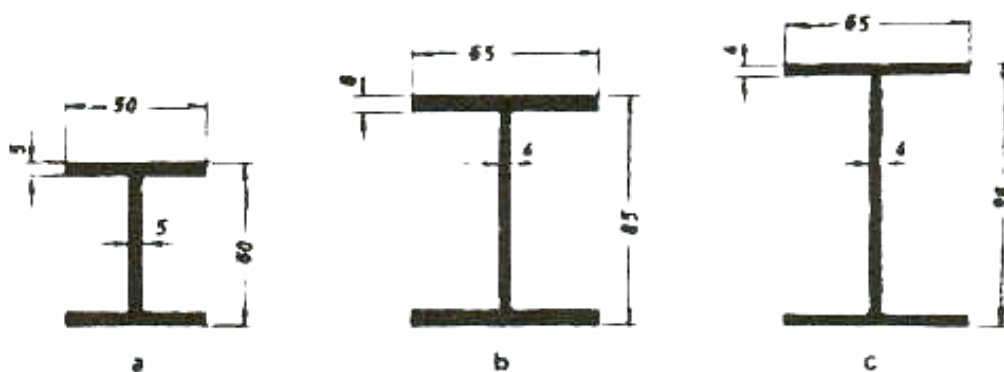
Ved å foreta en sammenligning mellom forskjellige materialer med hensyn på nødvendig treghetsmoment I, bjelkehøyde h, vekt og maksimal bøyespenning, σ_b , får vi resultatet som vist i tabellen. For enklere sammenligning, er verdiene på I, h og vekt for stål satt lik 1.

materiale	E (kN/mm ²)	I	h	vekt	σ_b
Stål	210	1	1	1	5
Aluminium, Al, - legering	70	3	1,44	0,5	2,4
Magnesium, Mg, - legering	47	4,5	1,65	0,4	1,83
Titan, Ti, -legering	110	1,9	1,24	0,7	3,27

Til tross for 3 ganger større treghetsmoment, er det mulig å oppnå en vektbesparelse på 50% ved bruk aluminium. Maksimal bøyespenning blir også lavere for bjelker i lettmetall.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I} y \quad \text{Hvor } M_b = \text{maksimalt bøyemoment } (F/2 \cdot L/2) \text{ og } y = h/2$$

Figur 7.6 viser noen forskjellige tverrsnitt på I-profiler som gir samme nedbøyning.



tekst:	materiale:		
	a - stål - S235	b - aluminium	c - aluminium
arealtreghetsmoment I (cm ⁴)	44	135	132,7
tverrsnittsareal A (cm ²)	7,63	10,93	8,72
vekt G (kg/m)	6,00	3,05	2,44
maks. bøyespenning, σ_b	370	172	205
vektbesparelse (%)	-	49,2	59,7

Figur 7.6
Tverrsnitt for stål og aluminium som gir samme nedbøyning. (11)

Tabellen viser en vektbesparelse på 49% og 60% ved å bruke aluminium isteden for aluminium.

Regel:

Utfør bjelkeprofiler med så stor høyde som mulig. Plasser så mye materiale som mulig i flensene (hvis for tynne steg, se opp for bukling/knekking).

Velg statisk ubestemte konstruksjonsformer (f.eks. rammer, kontinuerlige bjelker, innspente bjelker).

7.4 Andre viktige konstruksjonsregler

Brudd- / flytegrenseforhold

For mange aluminiumlegeringer som benyttes til konstruksjonsformål, gjelder at forholdet

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_F} = \frac{\text{flytegrense}}{\text{bruddfasthet}} = 1,2 - 1,3$$

Dette er et relativt tall som angir at det er lite forvarsel fra materialet flyter og til det går til brudd. Vi må derfor være oppmerksom på faren for ukontrollert overbelastning i konstruksjonselementer som er utsatt for strekkbelastning. Dette gjelder også for bøyepåkjente konstruksjonselementer.

Regel:

Ved valg av konstruksjonslegering og legeringstilstand, må det tas hensyn til belastningstilfellet. Vi må streve etter et relativt høgt forhold i konstruksjoner hvor det er risiko for total kollaps ved ufrivillig overbelastning.

Lengdeutvidelseskoeffisienten

Lengdeutvidelseskoeffisienten for aluminium er ca. $24 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, dvs. eksempelvis dobbelt så høy som for stål. Dette må vi huske på spesielt hvis aluminium skal samvirke med andre materialer. Hvis materialet hindres fra å bevege seg ved temperaturvariasjoner, oppstår det indre tvangskrefter. Disse beregnes med utgangspunkt i temperaturforholdet ved montering. Referansetemperatur bør alltid angis på alle tegninger.

Regel:

Ta hensyn til temperaturvariasjoner hvis de kan gi opphav til tvangskrefter gjennom ytre bevegelsesbegrensninger. Slike begrensninger kan oppstå i f.eks. oppstivede vegger eller tilsluttede deler. Ved statisk ubestemte systemer må vi også ta hensyn til egenspenningstilstanden som oppstår ved temperatursvingninger.

Relativt lav hardhet

Aluminiumlegeringer i myk tilstand har relativt lav hardhet. Dette medfører en viss risiko for overflateskader ved montasje og håndtering. Disse overflateskadene kan redusere utmattingsfastheten til konstruksjonen.

Regel:

Beskytt konstruksjonsdetaljer mot overflateskader ved montasje og håndtering.

Utmattingsfasthet

Den tillatte spenningen ved utmattingspåkjenning er lavere enn tillatt spenning ved statisk påkjenning. Dynamiske lasttilfeller anses vanligvis å foreligge hvis lastvekslingstallet, N, er større enn $N=10^3$ ved vekslende last (strekk – trykk), og større enn $N=10^4$ ved pulserende last (bare strekk eller bare trykk).

Regel:

En dynamisk belastet aluminiumkonstruksjon skal utformes slik at det tverrsnittet der den største spenningsamplituden (forholdet mellom største og minste spenning) kan forventes utgjøres av et usvekket grunnmateriale. (Eksempel. Sveising vil svekke materialet i den sonen som blir varmepåvirket.)

Fasthetsreduksjon ved varmpåvirkning

Aluminiumlegeringene som befinner seg i bærende konstruksjoner, har ofte fått en forhøyet materialfasthet ved kaldbearbeiding eller varmebehandling.

Dette fører til att materialet har begrenset termisk stabilitet. Sveising, varmpåvirkning og varmforming, kan derfor gi en lokal reduksjon i materialfastheten. Den opprinnelige materialfastheten kan ikke gjenvinnes.

Hvis risiko for instabilitet, bør det varmpåvirkede området av konstruksjonen ligge lengst mulig unna det knekk-kritiske tverrsnittet. Bredden av det området som påvirkes av varme, bør begrenses.

Regel:

Hvis det er nødvendig å sveise eller utføre annen oppvarming på konstruksjonsdeler, bør disse plasseres i et område med lave påkjenninger.

Korrosjonsbestandighet

Aluminium har veldig god korrosjonsbestandighet. Dette er avhengig av at metalloverflaten øyeblikkelig får et beskyttende oksid sjikt. Dette sjiktet er veldig tynt, i størrelsesorden 0,01µm. Aluminium krever i normal atmosfære ikke vedlikehold, og er godt egnet til utendørs bruk. Ved nedgraving i jord eller ved innstøping eller i kontakt med betong, kreves overflatebehandling, eksempel asfaltbelegg.

Regel:

Ved normale forhold kan aluminiumkonstruksjoner anvendes utendørs uten spesiell overflatebehandling.