



Brøns Maskinforretning – Nyt domicil på Hovedvejen i Brøns

Projektering af en ny maskinhal i Brøns - Projektgrundlag

Aalborg Universitet Esbjerg

Shahyan Haji - Diplomingeniørprojekt

Den 7. januar 2016





Titelblad

Titel	Brøns Maskinforretning – Nyt domicil på Hovedvejen i Brøns
Institution	Aalborg Universitet Esbjerg
Retning	Bygge- og anlægskonstruktion
Faglig vejleder	Poul Peter Gad, Brøns Ingeniørfirma ApS
Projektperiode	15. oktober 2015 – 7. januar 2016

Shahyan Haji

Synopsis

Diplomingeniørprojektet tager udgangspunkt i et igangværende byggeri i Brøns, 6780 Skærbæk. Byggeriet består af en maskinhal samt tilhørende administrations- og folkerumsfaciliteter, hvor den bærende konstruktion er udformet som stålrammekonstruktion samt betonelementvægge.

Projektet indeholder dimensionering af stålrammekonstruktionen, stålsøjler, vindgitter samt detaildimensionering. Projektering omfatter ligeledes en undersøgelse af byggeriets stabilitet af de præfabrikerede betonelementvægge, hvor disse vægge eftervises. Derudover behandles betonkonstruktioner, herunder dækket i administrationsbygning, hvor betondækket behandles som støbt in situ.

De vandrette og lodrette belastninger henføres til fundamenter, hvor der i rapporten dimensioneres på stålrammebenet og den indvendige søjles punktfundament.

Beregningerne er baseret på relevante standarder i form af Eurocodes samt tilhørende nationale annekser.

Rapporten afsluttes med en konklusion, hvor det konkluderes, at der er projekteret en maskinhal med tilhørende administrationsbygning, der opfylder de gældende og respektive normer og standarder.

Sideantal: 39





Forord

Denne rapport er et resultat af Shahyan Hajis afgangsprøve udført i perioden 15. oktober 2015 til 7. januar 2016 ved Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet Esbjerg, under vejledning af faglig vejleder Poul Peter Gad fra Brøns Ingeniørfirma ApS.

Rapporten beskriver projektering af en ny maskinhal med tilhørende administrationsbygning ved Brøns, og den resulterer i løsninger på baggrund af det udleverede projektmateriale. Det udleverede materiale er tegninger, som kan forefindes i bilagsmappen BP1.

Ligeledes er konstruktionsberegningerne udført i overensstemmelse med gældende normer og standarder i forbindelse med projektering maskinhallen i Brøns.

Endvidere er hensigten med projektet er at indarbejde ny viden omkring stålrammekonstruktioner, betonelementbyggerier og samtidig danne nye praktiske erfaringer på baggrund af vejledningsmøderne. Alt dette er med henblik på at opfylde målene for viden, færdigheder og kompetencer i studieordnings retningslinjer.

Læsevejledning

Projektering af Brøns Maskinhal er opdelt i tre rapporter. Det vil sige, at projektet er opdelt i et projektgrundlag, en rapport vedrørende de statiske beregninger samt en bilagsmappe.

Projektgrundlaget indeholder alle nødvendige forudsætninger og forhold bundet til de forskellige konstruktionsdele og for hele håndtering af konstruktionsberegninger.

Rapporten, vedrørende de statiske beregninger, dokumenteres at sikkerheden af bygværkets konstruktioner er i overensstemmelse med normer og standarder. Dette sker ved at opdele rapporten i forskellige afsnit, som håndterer disse konstruktionsberegninger. Afsnittene er:

- Dimensionering af stålrammekonstruktion
- Dimensionering af den indvendige søjle
- Dimensionering af vindgitteret
- Detaildimensionering af samlinger
- Stabilitetsberegninger betonelementvægge samt betondæk.
- Beregninger af fundamenter

Til de forskellige afsnit medfølger bilag, som der i det respektive afsnit er henvist til.





Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	8
1.2 Metode.....	9
2. Beskrivelse af bygværket	9
2.1 Bygningens art og funktion.....	9
2.2 Konstruktionens art og anvendelse	10
3. Grundlag.....	10
3.1 Normer og standarder	10
3.2 Sikkerhed	12
3.2.1 Konsekvensklasse.....	12
3.2.2 Kontrolklasse.....	12
3.2.3 Geoteknisk kategori	13
3.3 IKT-værktøjer	13
3.4 Referencer.....	14
4. Forundersøgelser	15
4.1 Geotekniske forhold.....	15
4.1.1 Jordbundsforhold.....	15
4.1.2 Funderingsklasse.....	15
5. Konstruktioner.....	16
5.1 Funktionskrav	16
5.2 Robusthed	16
5.3 Brand.....	16
5.4 Miljøklasse.....	16
5.5 Grænsetilstande.....	16
6. Konstruktionsmaterialer	18
6.1 Beton og armering	18
6.2 Stål	18
7. Laster.....	19
7.1 Lastkombinationer	19
7.2 Permanente laster	19
7.3 Nyttelaster	21
7.4 Snelast.....	22
7.4.1 Undersøgelse for ophobning	23



7.2 Vindlast	24
7.2.1 Vindtryk på overflader	24
7.2.2 Basisvindhastighed	26
7.2.4 Vindens turbulens	29
7.2.5 Peakhastighedstrykket	30
7.3 Formfaktorer for udvendige vindtryk på lodrette vægge	30
7.4 Formfaktorer for udvendige tryk på fladt tag	33
7.5 Indvendigt vindtryk	36
7.6 Nettovindtryk på hallen	36
8. konklusion	38



1. Indledning

Projektet omfatter opførelsen af en ny maskinhal med tilhørende administrations- og folkerumsfaciliteter i Brøns, hvor Brøns Maskinforretning ApS optræder som bygherre.



Figur 1.1 – Grundens beliggenhed ved Hovedvej 11 i Brøns

Det nye domicil har til formål at imødekomme den store vækst, som Brøns Maskinforretning oplever og derudover have et fælles sted, da den nuværende situation er en opdeling af selve kontorerne og maskinhallen.

Bygherren, Brøns Maskinforretning ApS, har haft nogle ønsker og krav, som vil udgøre målsætningen om opførelse af maskinhallen. Disse krav er:

- En større maskinhal end den de har på nuværende tidspunkt
- Et fælles sted for selve maskinhal og administrationsbygning

På baggrund af de af ovenstående ønsker og krav fra bygherren er der opstillet en problemformulering:

”Hvordan kan der udformes og dimensioneres en maskinhal med tilhørende administrationsbygning, der opfylder bygherrens krav og ønsker, samt de gældende og respektive normer?”

Dertil vil der i hvert konstruktionsafsnit blive besvaret følgende problemstillinger:



- Hvilke dimensioner er nødvendige for stålrammerne for at overholde kravene i såvel brud- som anvendelsesgrænsetilstand?
- Hvorledes sikres hovedstabiliteten af betonelementbyggeriet Maskinhallen?
- Hvilke dimensioner er nødvendige for stålrammens og den indvendiges søjles fundament?

Projektet er tegnet af arkitektfirmaet XX, og er formet som to rektangulære bygninger. Projektet består af maskinhallen samt administrationsbygning bestående af to etager. Det nye projekt har et areal på 5800 m².

1.2 Metode

Projektets metode følger i et stort omfang forskrifter fra SBI-anvisning, herunder anvisning nummer 223. Denne anvisning omhandler dokumentation af bærende konstruktioner. Ved dokumentation af bærende konstruktioner er det nødvendigt at foretage en statisk dokumentation, hvilket i dette tilfælde er det en konstruktionsdokumentation. Denne indeholder en dokumentation af konstruktionernes ydeevne i det færdige bygværk, som der vil blive belyst i rapporten *Statiske beregninger*.

2. Beskrivelse af bygværket

Afsnittet omhandler de generelle informationer vedrørende bygningen, som er fastsat af arkitekten i samarbejde med bygherren.

2.1 Bygningens art og funktion

Projektet omfatter etablering af en ny maskinhal med tilhørende administrations- og folkerumsfaciliteter ved Hovedvej 11 i Brøns. Maskinhallen skal anvendes til oplagring af maskiner, montageværksted og reservedelslager. Administrationsbygning anvendes som hovedkontor for medarbejderne af Brøns Maskinforretning ApS. I administrationsbygningen vil der være plads til kontorer, mødelokaler, frokostrum mm. I bilagsmappe BP1 kan der ses, hvad de forskellige rum anvendes til.



Bygværket udføres som to rektangulære bygninger, hvor indgangen til administrationsbygningen er mod vest. Det vil sige, bygningens venstre facade vender mod vest.

Maskinhallen er i et-plans mens administrationsbygning er med to etager. Byggeriet har til formål at huse ca. 20 medarbejdere dagligt.

Bygningens areal udgør 5800 m² for at tage hensyn til at have gode og åbne rum i administrationsbygningen samt at have plads til lager og montage i maskinhallen.

2.2 Konstruktionens art og anvendelse

Maskinhallen består af 22 stålrammer og ydermuren består af præfabrikerede sandwichelementer. Administrationsbygningen konstrueres som et betonelementbyggeri, hvor ydermuren og taget er præfabrikerede betonelementer der bliver samlet på stedet. Etageadskillelsen i administrationsbygning består af bærende forspændte huldækelementer.

Terrændækket og fundamenter for bygværket støbes in situ.

3. Grundlag

I følgende afsnit beskrives generelle forhold og relevante forudsætninger der har indflydelse ved projektering af bærende konstruktioner. De generelle forhold omfatter normer og standarder, hvor der i afsnittet *Sikkerhed* beskrives konsekvensklasse samt geoteknisk kategori i forbindelse med sikkerheden af byggeriet.

Sidst i afsnittet nævnes, hvilke kommunikationsteknologiske værktøjer der er blevet anvendt i projektet.

3.1 Normer og standarder

Herunder nævnes normer, standarder og tilhørende nationale annekser, som er anvendt til projektet.

Eurocode 0 – Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner

DS/EN 1990 – Forkortet udgave af Eurocode 0, 2013

DS/EN 1990 DK NA: 2013 – Nationalt Anneks til Eurocode 0:

Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner



Eurocode 1 – Last på bærende konstruktioner

DS/EN 1991 – Forkortet udgave af Eurocode 1, 2010

Del 1-1: Generelle laster – Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger

Del 1-3: Generelle laster – Snelast

Del 1-4: Generelle laster – Vindlast

DS/EN 1991-1-3 DK NA: 2012 – Nationalt Anneks til Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-3: Generelle laster – Snelast

DS/EN 1991-1-4 DK NA: 2010-03 – Nationalt Anneks til Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-4: Generelle laster – Vindlast

Eurocode 2 – Betonkonstruktioner

DS/EN 1992-1-1 + AC-2008: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner

DS/EN 1992-1-1 DK NA: 2013 – Nationalt Anneks til Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner

Eurocode 3 – Stålkonstruktioner

DS/EN 1993-1-1 + AC: 2007: Stålkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner

DS/EN 1993-1-1 DK NA: 2014 – Nationalt Anneks til Eurocode 3: Stålkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner

Eurocode 7 – Geoteknik

DS/EN 1997-1: Geoteknik – Del 1: Generelle regler

DS/EN 1997-1 DK NA: 2013 – Nationalt Anneks til Eurocode 7: Geoteknik – Del 1: Generelle regler



3.2 Sikkerhed

I følgende afsnit beskrives de sikkerhedsforanstaltninger, der anvendes for sikkerheden ved bærende konstruktioner, hvor bl.a. konsekvensklassen og geoteknisk kategori fastsættes.

3.2.1 Konsekvensklasse

I DS/EN 1990 er der opskrevet 3 konsekvensklasser ved konstruktionsmæssige aspekter baseres på sikkerheden. Formålet med konsekvensklassen er at fastsætte konsekvenserne ud fra risikoen for personskade og samfunds mæssige aspekt ved et eventuelt svigt. I nedenstående tabel fremgår definition af konsekvensklasserne lav, middel og høj. Ved valg af konsekvensklasse bestemmes kombinationsfaktoren K_{FI} som benyttes når den mest ugunstige lastkombination skal findes for en konstruktion.

Konsekvensklasse	Beskrivelse	Eksempler	K_{FI}
Lav – CC1	- Lav risiko for tab af menneskeliv - De økonomiske, sociale og miljømæssige konsekvenser er små eller kan lades ude af betragtning	Landbrugsbyggerier og lagerbygninger som normalt ikke benyttes af mennesker.	0,9
Moderat – CC2	- Middel risiko for tab af menneskeliv - De økonomiske, sociale og miljømæssige konsekvenser er betydelige	Boliger og kontorbygninger.	1,0
Høj – CC3	- Høj risiko for tab af menneskeliv - De økonomiske, sociale og miljømæssige konsekvenser er meget store	Bygninger med store spændvidder, som ofte benyttes af mange personer.	1,1

Tabel 3.1 – Oversigt over konsekvensklasser

På baggrund af ovenstående kriterier til valget af konsekvensklasse, henføres konsekvensklasse for maskinhallen i projektet til konsekvensklasse CC2 – Moderat.

3.2.2 Kontrolklasse

Projekteringskontrol indebærer kontrol af projektmateriale, der omhandler de bærende konstruktioner dvs. projektgrundlag, statiske beregninger, tegninger/modeller og udførelsesspecifikationer.



Kontrollen skal være med til at sikre, at:

- Projektgrundlagets forudsætninger er korrekte og er brugt til grundlag for projektering.
- De forudsætninger, som er gjort for de statiske beregninger, er indarbejdet korrekte i øvrigt projektmateriale.
- Tegninger og udførelsesspecifikationer er dækkende for udførelse af de bærende konstruktioner.

Det er vurderet, at byggeprojektet Maskinhal tilhører normal kontrolklasse.

3.2.3 Geoteknisk kategori

Ved geotekniske aspekter henføres sikkerheden på funderingsklassen, som opdeles i 3 geotekniske kategorier jævnfør Eurocode 7. Ved af de tre geotekniske kategorier, gælder nogle krav til de geotekniske undersøgelser.

Funderingsklasse	Betingelser	Kontrol
Kategori 1	Bør kun omfatte små og relativt simple konstruktioner, hvor udgravningen under grundvandsspejlet vil være ukompliceret eller unødvendig.	Tilsynsprogrammet kan begrænse til inspektion, simpel kvalitetskontrol og skønsmæssig vurdering af konstruktionens virkemåde
Kategori 2	Bør omfatte sædvanlige konstruktionstyper og funderinger uden usædvanlige eller særligt vanskelige belastnings- eller jordbundsforhold.	Der bør ofte kræves målinger af jordegenskaber eller konstruktionens virkemåde
Kategori 3	Bør omfatte konstruktioner eller konstruktionsdele, der falder uden for kategori 1 og 2.	Supplerende krav bør omfatte yderligere undersøgelser eller gennemgang af detaljer i jordbunds- eller opfyldningsforhold der kan have vigtig indflydelse på dimensioneringen.

Tabel 3.2 – Oversigt over geotekniske kategorier

Den geotekniske kategori til projektet henføres til kategori 2 jævnfør den geotekniske rapport, som forefindes i bilagsmappe BP2.

3.3 IKT-værktøjer

I projektet anvendes softwareprogrammer og informationsteknologiske værktøjer. De benyttede IKT-værktøjer er:



- AutoCAD 2D, 2014
- Mathcad 14.0 M011
- Microsoft Office pakke 2010 (Word, Excell)

3.4 Referencer

Udover benyttelsen af ovenstående normer/ Eurocodes, er der gjort brug af følgende:

Bøger

Der er til projektet gjort brug af følgende bøger:

- Teknisk Ståbi 22. udgave, Nyt teknisk forlag 2013, ISBN: 978-87-571-2775-1
- Betonelementbyggeriers statik af *Jesper Frøbert Jensen*, Polyteknisk Forlag, ISBN: 978-87-502-0995-9
- Betonkonstruktioner 2. udgave af *Bjarne Chr. Jensen*, Nyt Teknisk forlag 2008, 2012, ISBN: 978-87-571-2766-9
- Stålkonstruktioner af *Bent Bonnerup, Bjarne Chr. Jensen og Carsten Munk Plum*, Nyt Teknisk Forlag 2009, ISBN: 978-87-571-2683-9
- Lærebog i geoteknik 2. udgave af *Niels Krebs Ovesen, Leif Fuglsang, Gunnar Bagge, Anette Krogsbøl m.fl.*, Polyteknisk Forlag 2012, ISBN: 978-87-502-1042-9

Hjemmesider

Der er til projektet gjort brug af følgende hjemmeside:

- Krak, www.krak.dk
- Google Maps, www.google.dk
- Betonelement, www.betonelement.dk
- Betonelement-Foreningen, www.bef.dk
- Brøns maskinforretning, www.amazone.bronsgroup.com



4. Forundersøgelser

Følgende afsnit omfatter en undersøgelse af de geotekniske forhold.

4.1 Geotekniske forhold

Til senere beregninger af fundamenter, er det relevant at få fastlagt grundens materialer, jordbundsforhold og funderingsparametre. Da det ikke har været muligt at anskaffe et geoteknisk rapport for den eksakte område for byggegrunden, er der valgt at benytte en geoteknisk rapport fra en lokalitet i Skærbæk. Den geotekniske rapport forefindes i bilagsmappe BP2.

De geotekniske forhold tager udgangspunkt i 4 boringer foretaget på Hjemstedvej i Skærbæk, hvor jordbundsundersøgelse er foretaget af Jysk Geoteknik A/S.

4.1.1 Jordbundsforhold

Området er beliggende på et morænelandskab dannet under næstsidste istid. Der er ved undersøgelse konstateret muld med en tykkelse svingende fra 0,60 -1,3 meter. Underliggende lag er der konstateret silt/ -sandlag, dog mest sand. Herunder er der konstateret et massivt marinaflejret sandlag med et varierende grusindhold til niveauet 5,6 -7,6 meter under terræn.

Boringer B3 og B4 er afsluttet i de postglaciale marine sandaflejringer 6 meter under terræn. Boringer B1 og B2 er afsluttet i moræneler i henholdsvis niveauet 5,6 – 6,0 og 7,6 – 8,0 meter under terræn.

4.1.2 Funderingsklasse

Jævnfør den geotekniske rapport, kan funderingen gennemføres i normal funderingsklasse.



5. Konstruktioner

5.1 Funktionskrav

En bygningskonstruktion skal dimensioneres og udføres således, at den kan modstå de laster, den forventes at blive udsat for, og fungere tilfredsstillende ved normal brug i den forudsete levetid med tilfredsstillende sikkerhed.

I projektet er der ikke angivet yderligere funktionskrav fra bygherrens side. Dertil vil anvendelsesgrænsetilstanden regnes efter vejledende værdier fra gældende normer og standarder

5.2 Robusthed

En konstruktions robusthed karakteriseres som dens evne til at modstå et ikke forudset brud. En konstruktion er robust, når:

- De sikkerhedsmæssigt afgørende dele af konstruktionen kun er lidt følsomme over for utilsigtede påvirkninger af defekter.
- Der ikke sker omfattende svigt af konstruktionen, hvis en begrænset del af konstruktionen svigter.

En konstruktions robusthed skal modsvare konsekvenserne af et svigt af konstruktionen, dvs. at robusthed er afhængig af konstruktionens konsekvensklasse. For konstruktioner i konsekvensklasse CC2 stilles der ikke noget krav om dokumentation af robusthed. Der skal dog foreligge en vurdering af robusthed. Vurderingsdetaljeringen skal øges i tilfælde af større spændevidder, store koncentrerede laster, få understøtninger og specielle konstruktionstyper. Der er her taget udgangspunkt i DS/EN 1990 DK NA-2013.

5.3 Brand

En konstruktion skal opføres og designes således, at der opnås en tilstrækkelig sikkerhed mod brand og brandspredning til de omkringliggende bygninger. Derudover skal der være mulighed for redning af personer og slukningsarbejdet. Evakuering ved tilfælde af brand skal foregå let og betryggende via flugtveje eller direkte ud til det fri. Antallet af redningsåbninger skal tilpasses det antal personer, som opholder sig i bygningen. De bærende elementer i bygningen udføres i brandklasse REI 60-M A2-s1,d0 (Tung BS-60), som svarer til brandklasse for bærende og adskillende bygningsdele. Desuden skal dimensionering af bærende konstruktioner under brand foretages i henhold til DS/EN 1991-1-2.

5.4 Miljøklasse

Til projektet gøres der brug af en miljøklasse. For indendørs konstruktioner i tørt miljø bruges miljøklassen *passiv*, og dette vil der blive taget udgangspunkt i ved dimensionering af betonkonstruktioner.

5.5 Grænsetilstande

Anvendelsesgrænsetilstande fastsættes i henhold til det enkelte projekt og i aftale med bygherren, men da der ikke er fastsat nogle til dette projekt, tages udgangspunkt i de anbefalede værdier i de tilsvarende Eurocodes.



For betonkonstruktioner findes den maksimale nedbøjning til:

$$u \leq \frac{l}{250}$$

De vejledende værdier for maksimal tilladelige udbøjning, af stålelementer i anvendelsesgrænsetilsand fra variable laster, sættes til:

$$\frac{h}{150}$$

Ved brudgrænsetilstanden regnes efter STR, hvor det skal eftervises, at der ikke forekommer styrkesvigt eller meget stor deformation af konstruktionen eller konstruktionens dele.



6. Konstruktionsmaterialer

6.1 Beton og armering

Følgende partialkoefficienter er fundet ud fra DS/EN 1992-1-1 DK NA: 2013. Partialkoefficienter for materialer i brudgrænsetilstande ved vedvarende og midlertidige dimensioneringstilstande:

Konstruktioner

- Trykstyrke i armeret beton $\gamma_c = 1,45 \gamma_3$
- Trækstyrke $\gamma_c = 1,70 \gamma_3$
- Armeringsstyrke $\gamma_s = 1,20 \gamma_3$

Præfabrikerede elementer

- Trykstyrke i armeret beton $\gamma_c = 1,40 \gamma_3$
- Trækstyrke $\gamma_c = 1,60 \gamma_3$
- Armeringsstyrke $\gamma_s = 1,20 \gamma_3$

For de præfabrikerede elementer er det skærpet kontrolklasse. Dermed er:

$$\gamma_3 = 0,95$$

For konstruktioner støbt på stedet er det normalkontrolklasse, hvor:

$$\gamma_3 = 1,0$$

Materialekvaliteter

Der anvendes følgende kvaliteter:

- Beton C30/C35/C50
- Armering S500/S550

6.2 Stål

Følgende partialkoefficienter er fundet ud fra DS/EN 1993-1-1 DK NA: 2014:

- $\gamma_{M0} = 1,1 \gamma_3$
- $\gamma_{M1} = 1,2 \gamma_3$
- $\gamma_{M2} = 1,35 \gamma_3$

γ_3 er fastsat til 1,0 for normal kontrolklasse.



7. Laster

I følgende afsnit beskrives de optrædende laster på bygværket.

7.1 Lastkombinationer

I det følgende afsnit er der foretaget beregninger for nyttelasten og naturlasterne – vind- og snelast. Ligeledes er egenlasten fra de forskellige konstruktionsdele bestemt.

Formålet med at få opstillet lastkombinationer er at skabe et overblik over, hvilke lastkombinationer der er dimensionsgivende så der dermed bliver taget udgangspunkt i det mest kritiske scenarie.

De regningsmæssige lastværdier for brudgrænsetilstanden kan ses i det følgende, hvor formel 6.10b er anvendt:

Egenlast

$$\begin{aligned}\gamma_{Gj,sup} & 1,0 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{G,inf} & 0,9\end{aligned}$$

Dominerende egenlast

$$\begin{aligned}\gamma_{Gj,sup} & 1,2 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{G,inf} & 1,0\end{aligned}$$

Dominerende snelast

$$\begin{aligned}\gamma_{Q,1} & 1,5 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{Q,wk} & 1,5 \cdot 0,3 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{Q,qk} & 1,5 \cdot \psi_0 \cdot K_{FI}\end{aligned}$$

Dominerende vindlast

$$\begin{aligned}\gamma_{Q,1} & 1,5 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{Q,sk} & 0 \\ \gamma_{Q,qk} & 1,5 \cdot \psi_0 \cdot K_{FI}\end{aligned}$$

Dominerende nyttelast

$$\begin{aligned}\gamma_{Q,1} & 1,5 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{Q,sk} & 1,5 \cdot \psi_0 \cdot K_{FI} \\ \gamma_{Q,wk} & 1,5 \cdot \psi_0 \cdot K_{FI}\end{aligned}$$

7.2 Permanente laster

Permanent last er en last, der virker på konstruktionen i hele dens levetid. Permanente laster er også benævnt egenlast og klassificeres som bunden last.



I projektet beregnes ydervægselementerne som én samelet linjelast, hvor tagkonstruktionen og dækelementet i etageadskillelsen som fladelaster.

Ved beregning af egenlasten af de forskellige konstruktioner, benyttes de enkelte materials densiteter og dimensioner. Disse er fundet enten i Eurocoden eller hos de respektive producenter.

Resultatet af egenlast fra de forskellige konstruktionsdele i industribygningen er angivet i følgende tabeller. Beregningerne for de respektive egenlaster forefindes i Bilagsmappe BP3.

Tagkonstruktion i maskinhal		
Emne	Last kN/m²	Bemærkning
Icopal Base 500 PG tagpap	0,031	Icopal
Isolering	0,11	Rockwool
Dampspærre	0,13	Icopal
Bundisolering	0,015	Rockwool
Tagstålplader*	0,058	Lindab
I alt	0,35 kN/m²	

Tabel 7.1 – Egenlast af tagkonstruktionen i maskinhallen

* Det har ikke været muligt at aflæse en densitet på tagstålplader med en højde på 127 mm som er benævnt på arkitekttegninger. Derimod er der valgt sinus plader fra TATA-Steel med en profilhøjde på 45 mm.

Facadeelementer		
Emne	Last	Bemærkning
Facadebeton		
Isolering		
beton		
I alt	71,95 kN/m	Expan

Tabel 7.2 – Egenlast af facadeelementer

Etageadskillelsen		
Emne	Last kN/m²	Bemærkning
Jernbeton	2,5	DS/EN 1990
Huldækelementer	3,1	Betonelement
I alt	2,5 kN/m²	

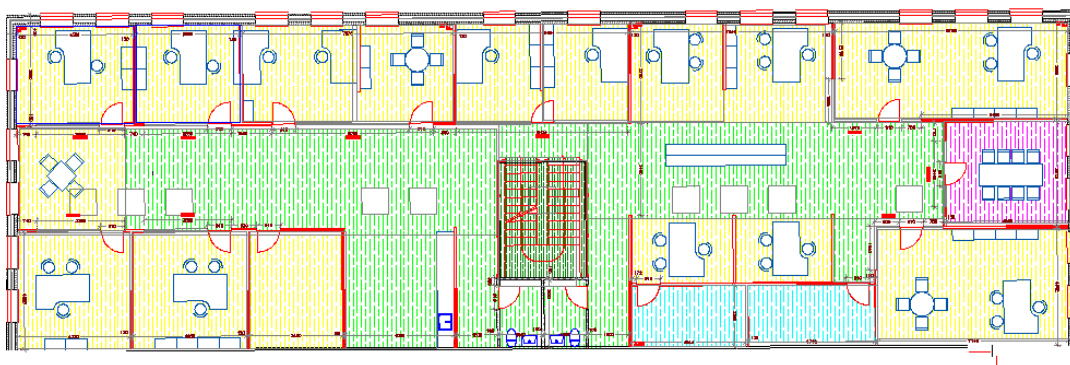
Tabel 7.3 – Egenlast af etageadskillelsen



7.3 Nyttelaster

Nyttelaster regnes som variable frie laster. Nyttelasterne kategorier samt værdier fastlægges efter normerne i DS/EN 1991-1-1 DK NA:2012. I dimensioneringstilfælde, hvor nyttelaster virker samtidig med andre variable laster (f.eks. laster fra sne, vind, kraner eller maskiner), skal den totale nyttelast i lasttilfældet betragtes som en enkel last.

I nedenstående figur er der skraveret på plantegning over 1.etage i administrationsbygningen. Nyttelasterne fordeling er med forskellige farver, som indikerer hvilket kategori nyttelasten tilhører.



Figur 7.1 – 1. etage i administrationsbygningen med skravering

Den nedenstående viser, hvilke kategori tilhører dens respektive skraveringsfarve.

	Kategori B - Kontorarealer
	Kategori B-C1 – Lokale adgangsveje
	Kategori B-C1 – Fælles adgangsveje
	Kategori D2 – Arkivlokaler
	Kategori C1 – Samlingsrum

Figur 7.2 - Signatur

Nyttelasterne værdier for de respektive kategorier bliver opridset herunder:

Kategori	Q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
B - Kontorarealer	2,5	2,5
B-C1 – Lokale adgangsveje	3,0	3,0



B-C1 – Fælles adgangsveje	5,0	4,0
A3 – Teknik og arkiv	1,0	0,5
C1 - Samlingsrum	2,5	3,0
E – Reolopstillinger og printer	7,5	7,0

Tabel 7.4 – Nyttelasternes værdi

7.4 Snelast

Snelast er defineret som en naturlast, der forekommer på bygningens tage. Snelasten regnes som en variabel, bunden last, men i visse tilfælde kan den regnes som en fri last. Snelasten antages at virke lodret fladelast og henføres til en vandret projektion af tagarealet.

I projektet tages udgangspunkt i jævnt fordelte snelaster, hvor lasten for vedvarende eller midlertidige dimensioneringstilfælde bestemmes ved følgende udtryk:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

Hvor:

μ_i	Formfaktoren for snelast
C_e	Eksponeringsfaktor
C_t	Termisk faktor
s_k	Den karakteristiske terrænværdi

Formfaktoren for snelast

Da bygnings taghældning er under 30, aflæses formfaktoren til 0,8.

Eksponeringsfaktor

Faktoren definerer reduktion eller forøgelse af snelast på et tag på en uopvarmet bygning som en andel af den karakteristiske terrænværdi. Faktoren bliver fastsat efter hvilken typografi, projektområdet tilhører. Da projektområdet tilhører en normal typografi, henføres eksponeringsfaktoren til en værdi på 1,0.

Termisk faktor

Faktoren beskriver reduktionen af snelast på tage som en funktion af varmestrømmen gennem taget, der forårsager afsmeltning af sne. Ved denne beregning sættes koefficienten til 1,0.

Den karakteristiske terrænværdi

I henhold til DS/EN 1991-1-3 DK NA:2012 sættes den karakteristiske terrænværdi af snelasten på jorden til 1,0 kN/m².



Snelasten på industrihallen kan ud fra de fastsatte værdier bestemmes ved ligning:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \frac{kN}{m^2} = 0,8 \frac{kN}{m^2}$$

Det vil sige, at industrihallen bliver udsat for en karakteristisk snelast på 0,8 kN/m².

7.4.1 Undersøgelse for ophobning

Der undersøges for sneophobning, da industrihallen er udført med en murkrone som følge af en forhindring.

Formfaktorer for snelast og længden af ophobninger for kvasihorisontale tag bør være som følger:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \gamma \cdot \frac{h}{s_k}, 0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

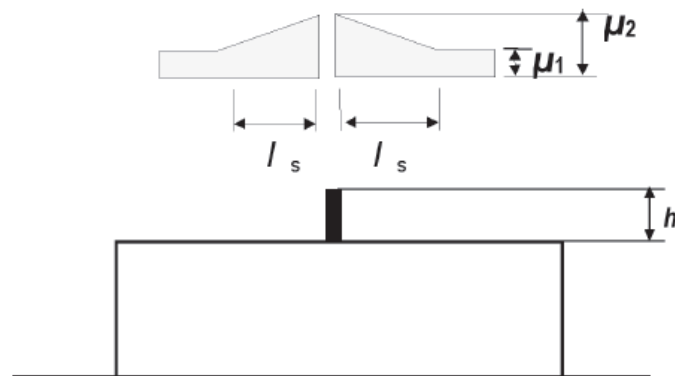
Hvor:

γ	Sneens specifikke tyngde
h	Højden af murkronen

Med udgangspunkt i arkitekttegninger aflæses murkronen, h , til 0,424 meter. Sneens specifikke tyngde sættes til 2,0 kN/m³. μ_2 kan hermed bestemmes:

$$\mu_2 = 2,0 \frac{kN}{m^3} \cdot \frac{0,424 m}{1,0 \frac{kN}{m^2}} = 0,85$$

Da $\mu_2 > \mu_1$ skal der tages hensyn til sneophobning på taget. Illustrationen af ophobning af vist nedenfor:



Figur 7.2 – Formfaktorer ved forhindringer

Længden af ophobning bestemmes:

$$l_s = 2h, \text{ med begrænsning } 5 \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

$$l_s = 2 \cdot 0,424 \text{ m} = 0,848 \text{ m}$$

Da der er begrænsning for sneophobningslængde, vælges længden i dette tilfælde til 5 meter.

7.2 Vindlast

Fastsættelsen af de karakteristiske vindlaste sker efter *DS/EN 1991-1-4:2007, Generelle Laster – Vindlast* og *DS/EN 1991-1-4 DK NA:2010*.

7.2.1 Vindtryk på overflader

Vindtrykket, der virker på udvendige overflader, w_e bestemmes af:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Hvor:

q_p	Peakhastighedstrykket
z_e	Referencehøjde
c_{pe}	Formfaktoren for det udvendige tryk

Indvendigt vindtryk betegner vindtrykket på bygningens indvendige flader og kan bestemmes ved:

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

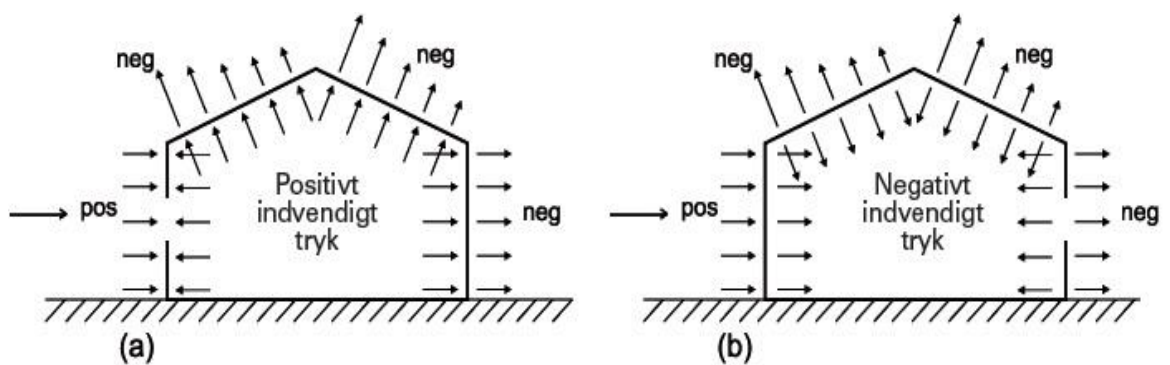
Hvor:



q_p	Peakhastighedstrykket
z_i	Referencehøjde
c_{pi}	Formfaktoren for det indvendige tryk

Det antages, at indvendige og udvendige vindtryk til at virke samtidig. Kombinationen af det udvendige og indvendige vindtryk betragtes for den mest ugunstige kombination af åbninger og andre utætheder.

Nettovindtryk på en flade er forskellen mellem vindlast på de modstående overflader med deres fortegn taget i betragtning. Tryk regnes positivt i retning mod fladen og sug regnes negativt i retning væk fra fladen. Dette er illustreret i følgende figurer.



Figur 7.3 - positiv og negativ vindtryk på en konstruktion.

Da det antages, at indvendige og udvendige vindtryk virker samtidig, bestemmes nettovindtrykket ved:

$$w = q_p(z) \cdot (c_{pi} + c_{pe})$$

Peakhastighedstrykket kan bestemmes ved:

$$q_p(9,7 \text{ m}) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$$

Hvor:

I_v	Turbulensintensiteten
ρ	Luftens densitet
V_m	Middelvindhastigheden

Luftens densitet ved jordoverfladen sættes til $1,25 \text{ kg/m}^3$.

I de følgende afsnit bestemmes forskellige faktorer for at kunne bestemme peakhastighedstrykket.



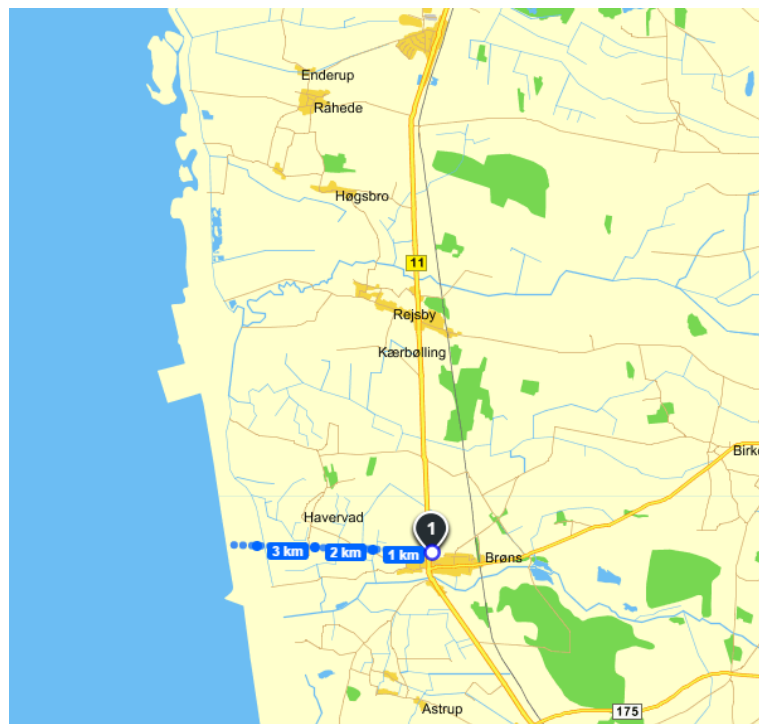
Efterfølgende bestemmes formfaktorerne for udvendige vindtryk for lodrette vægge samt taget. Dernæst er der et afsnit med formfaktorer for indvendige vindtryk.

Afsnittet vindlast afsluttes med resultaterne heraf.

7.2.2 Basisvindhastighed

Basisvindhastighedens grundværdi i Danmark sættes til 24 m/s på nær en randzone, der gælder for bebyggelser mindre end 25 km fra Vesterhavet og fjorde. Basisvindhastighedens grundværdi (V_{0}) er her fastsat til 27 m/s ved kysten og lineært aftagende til 24 m/s ved randzonens ophør. Projektets beliggenhed er under 25 km fra Vesterhavet og ligger derfor i randzonen. Ved fastlæggelse af (V_{0}) måles afstanden til Vesterhavet, hvorefter der interpoleres frem til ($V_{b,0}$).

Ved hjælp af www.krak.dk's elektroniske kort er afstanden fra Vesterhavet til grunden på Hovedvej målt til 3,5 km.



Figur 7.4 – Afstand fra projektgrunden til Vesterhavet

Der interpoleres for at finde V_{0} :

$$V_{b,0} = 27 \frac{m}{s} + \frac{(24 - 27) \frac{m}{s}}{(25 - 0) km} \cdot (5,3 - 0) km = 26,6 \frac{m}{s}$$

Basisvindhastighed kan bestemmes ved følgende formel



$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

Hvor:

V_b	Basisvindhastigheden
C_{dir}	Retningsfaktoren (afhængig af vindretning)
C_{season}	Årstidsfaktoren
$v_{b,0}$	Basisvindhastighedens grundværdi.

Da projektet omhandler en permanent konstruktion, sættes årstidsfaktoren til 1,0.

Med udgangspunkt i *Tabel 1a – Retningsfaktorens kvadrat C_{dir}* i DS/EN 1991-1-4 DK NA:2010-05, vælges basisvindhastigheden for de forskellige retninger.

Basisvindhastigheden ved vind fra vest regnes med en retningsfaktor 1,0.

$$V_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 26,6 \frac{m}{s} = 26,6 \frac{m}{s}$$

Basisvindhastigheden ved vind fra nord, syd og øst regnes med en retningsfaktor 0,8.

$$V_b = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 26,6 \frac{m}{s} = 21,3 \frac{m}{s}$$

7.2.3 Middelvind

Middelvindhastigheden, $v_m(z)$ bestemmes ud fra basisvindhastigheden i en højde z over terræn. Middelvindhastigheden indgår direkte i udtrykket for peakhastighedstrykket og bestemmes ved:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

Hvor:

$c_r(z)$	Ruhedsfaktoren
$c_0(z)$	Orografifaktor

Orografifaktoren sættes oftest til 1, da tærnet i og omkring Brøns er fladt.

Ruhedsfaktoren bestemmes i følgende afsnit.

Ruhedsfaktoren

Ruhedsfaktoren tager hensyn til, at middelvindhastigheden kan variere på byggegrunden som følge af højden over terræn og ruheden af terræn. Ruhedsfaktoren kan bestemmes med følgende formel:



$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ for } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Hvor:

k_r	Terrænfaktoren
z	Bygningens højde
z_0	Ruhedslængden bestemt ud fra terrænkategori
$z_{\min}$	Minimumshøjde
$z_{\max}$	Maksimalhøjden

Maksimalhøjden sættes til 200 m, og minimumshøjden sættes til 1 meter gældende for terrænkategori I ved tabelopslag.

Bygningens højde, z er 9,7 meter.

Terrænfaktoren findes ved hjælp af formlen:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

Hvor:

z_0	Ruhedslængden bestemt ud fra terrænkategori
$z_{0,II}$	er 0,05 m for terrænkategori II.

Ud fra nedenstående figur ses, at projektgrunden ligger i et område med en del vegetation og forhindringer såsom bygninger, hvorfor der vil være tale om terrænkategori II. Da konstruktionen bliver opført ved et ruhedsskift i en afstand af mindre end 2 km fra den glattere kategori I, bør den mest glatte terrænkategori vælges – det vil sige, at der i dette tilfælde vælges terrænkategorien til I.



Figur 7.5 – Projektgrunden (Punkt 1) angivet med 2 km afstand



Dette medfører, at z_0 sættes til 0,01 meterjævnfør tabelopslag i Eurocode 1.
Dermed fås terrænfaktor til:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,01 \text{ m}}{0,05 \text{ m}} \right)^{0,07} = 0,17$$

Dermed bestemmes ruhedsfaktoren:

$$c_r(z) = 0,17 \cdot \ln \left(\frac{9,7 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} \right) = 1,17$$

Alle faktorer, som indgår i udtrykket for middelvindhastigheden, er bestemt.
Dertil bestemmes middelvindhastigheden for vind fra vest:

$$v_m(z) = 1,17 \cdot 1 \cdot 26,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 31,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Middelvindhastigheden bestemmes ligeledes for vind fra nord, syd og øst:

$$v_m(z) = 1,17 \cdot 1 \cdot 21,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 24,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7.2.4 Vindens turbulens

Turbulensintensiteten, $I_v(z)$ er en anden faktor som også indgår i udtrykket til beregning af peakhastighedstrykket. Denne kan beregnes ved følgende formel:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \text{ for } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

Hvor:

σ_v	Turbulensens standardafvigelse
$v_m(z)$	Middelvindhastigheden

Turbulensens standardafvigelse σ_v bestemmes af udtrykket:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I$$

Hvor:

k_r	Ruhedslængde
v_b	Basisvindhastighed
k_I	Turbulensfaktoren

Turbulensfaktoren sættes til 1,0.

Turbulensens standardafvigelse σ_v beregnes for vind fra vest:



$$\sigma_v = 0,17 \cdot 26,6 \frac{m}{s} \cdot 1,0 = 4,5 \frac{m}{s}$$

Dermed kan vindens turbulensintensitet i 9,7 meter højde bestemmes til:

$$I_v(z) = \frac{4,5 \frac{m}{s}}{31,3 \frac{m}{s}} = 0,14$$

Turbulensens standardafvigelse σ_v beregnes for vind fra nord, syd og øst:

$$\sigma_v = 0,17 \cdot 21,3 \frac{m}{s} \cdot 1,0 = 3,6 \frac{m}{s}$$

Dermed kan vindens turbulensintensitet i 9,7 meter højde bestemmes til:

$$I_v(z) = \frac{3,6 \frac{m}{s}}{24,9 \frac{m}{s}} = 0,15$$

7.2.5 Peakhastighedstrykket

Alle størrelser, som indgår i udtrykket for peakhastighedstrykket, er bestemt. Hertil kan værdien for peakhastighedstrykket bestemmes.

Peakhastighedstrykket udregnes for vind fra vest:

$$q_p(9,7 \text{ m}) = (1 + 7 \cdot 0,14) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot (31,3 \frac{m}{s})^2$$

$$q_p(z) = 1,21 \frac{kN}{m^2}$$

Peakhastighedstrykket udregnes for vind fra nord, syd og øst:

$$q_p(9,7 \text{ m}) = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot (24,9 \frac{m}{s})^2$$

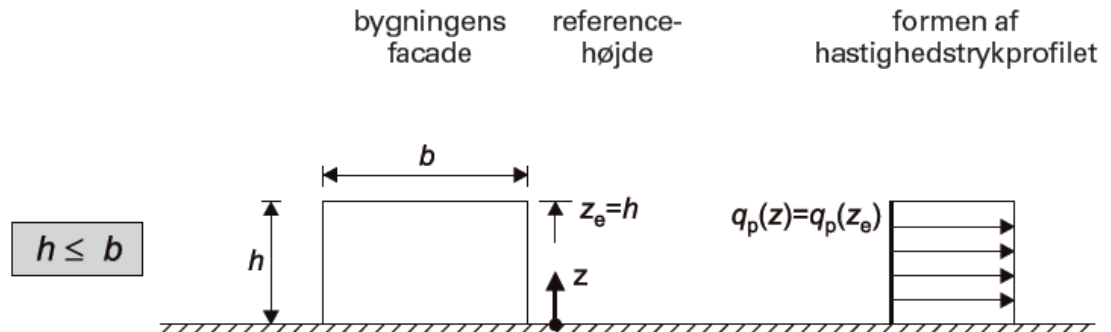
$$q_p(z) = 0,77 \frac{kN}{m^2}$$

7.3 Formfaktorer for udvendige vindtryk på lodrette vægge

Referencehøjden, z_e for vægge i vindsiden af bygninger med rektangulær grundplan, afhænger af h/b-forholdet og er den største værdi af forholdet mellem h/b. I Danmark regnes referencehøjden, z_e lig med bygningens højde (til kip).



Bygningens højde h er mindre end b , og på nedenstående figur ses lodret væg med tilhørende hastighedstryksprofil.



Figur 7.6 – Lodrette vægge i bygninger med rektangulær grundplan, hvor $h \leq b$

Højden på bygningens facader er 9,7 meter. Bygningens længde og bredde er hhv. 97,6 meter og 40,8 meter.

Lasttilfælde 1 - Vind på tværs af bygningen

For at fastlægge zonerne skal e -værdien fastlægges. Den mindste værdi af $2h$ eller b anvendes som e -værdi. Længden på tværs af vinden angives som b .

$$2 \cdot h = 2 \cdot 9,7 \text{ m} = 19,4 \text{ m} < b = 97,6 \text{ m}$$

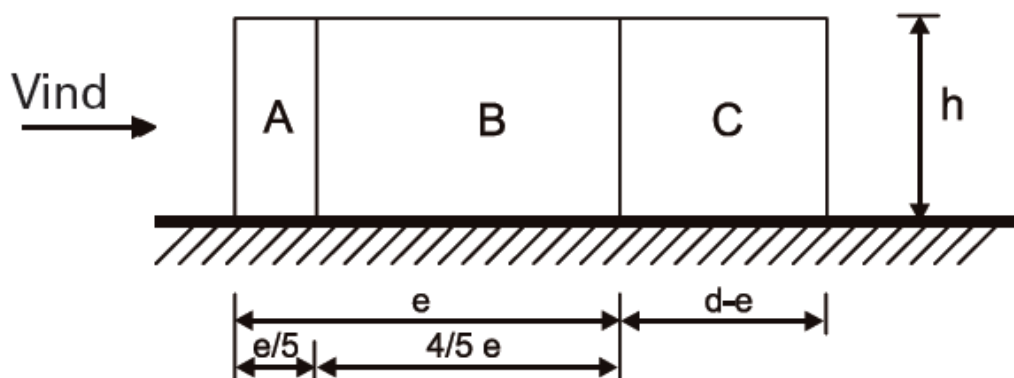
Det vil sige:

$$e = 19,4 \text{ m}$$

Størrelsen af zonerne bestemmes ud fra forholdet mellem d og e , hvor d er dybden af bygningen i forhold til vindretningen.

$$e = 19,4 \text{ m} < d = 40,8 \text{ m}$$

Det vil sige, at der haves 3 zoner – Zone A, B og C.



Figur 7.7 – Opstalt for $e < d$



Ud fra de gældende kriterier kan de enkelte længder bestemmes:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{19,4 \text{ m}}{5} = 3,88 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 19,4 \text{ m} = 15,52 \text{ m}$$

Formfaktorerne for zonerne A, B og C er konstante og er dermed ikke afhængige af h/d-forholdet. Formfaktorerne for zonerne D og E varierer og afhænger af h/d-forholdet. Forholdet mellem h/d bestemmes:

$$\frac{h}{d} = \frac{9,7 \text{ m}}{40,8 \text{ m}} = 0,24$$

For $1 > \frac{h}{d} > 0,25$ interpoleres der lineært mellem de anbefalede formfaktorer, c_{pe10} , for vindtrykket på vindsiden (D) og læsiden (E). I dette tilfælde er h/d-forholdet mindre end 0,25 - det vil sige de, at de anbefalede værdier ud fra 0,25 vælges.

Zone	A	B	C	D	E
h/d	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}
1	-1,20	-0,80	-0,50	+0,80	-0,50
$\leq 0,25$	-1,20	-0,80	-0,50	+0,70	-0,30

Tabel 7.5 – Formfaktorer for zoner

Lasttilfælde 2 - Vind på langs af bygningen

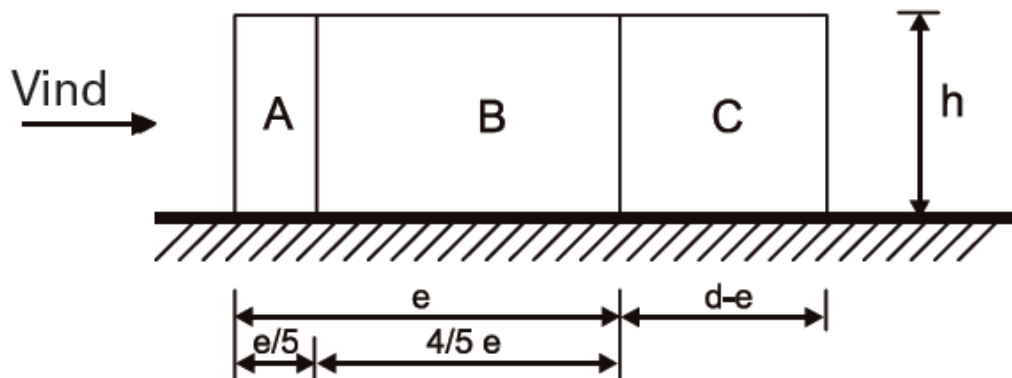
Værdien for e fastsættes:

$$2 \cdot h = 2 \cdot 9,7 \text{ m} = 19,4 \text{ m} < b = 40,8 \text{ m}$$

$$e = 19,4 \text{ m}$$

Størrelsen af zonerne bestemmes ud fra forholdet mellem d og e, hvor d er dybden af bygningen i forhold til vindretningen.

I dette tilfælde haves også 3 zoner – Zone A, B og C.



Figur 7.8 – Opstalt for $e < d$

Ud fra d gældende kriterier kan de enkelte længder bestemmes:

$$A = \frac{e}{5} = \frac{19,4 \text{ m}}{5} = 3,88 \text{ m}$$

$$B = \frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 19,4 \text{ m} = 15,52 \text{ m}$$

Formfaktorerne for zonerne A, B og C er konstante. Formfaktorerne for zonerne D og E varierer, og kan beregnes ved at finde h/d forholdet:

$$\frac{h}{d} = \frac{9,7 \text{ m}}{97,6 \text{ m}} = 0,10$$

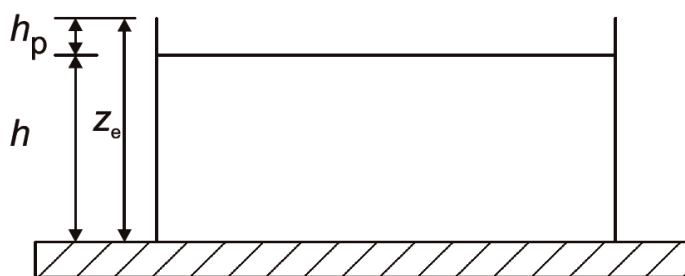
Da h/d-forholdet er mindre end 0,25 – vælges de anbefalede værdier for formfaktor ud fra 0,25.

Zone	A	B	C	D	E
h/d	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}	c_{pe10}
1	-1,20	-0,80	-0,50	+0,80	-0,50
$\leq 0,25$	-1,20	-0,80	-0,50	+0,70	-0,30

Tabel 7.6 – Formfaktorer for zoner

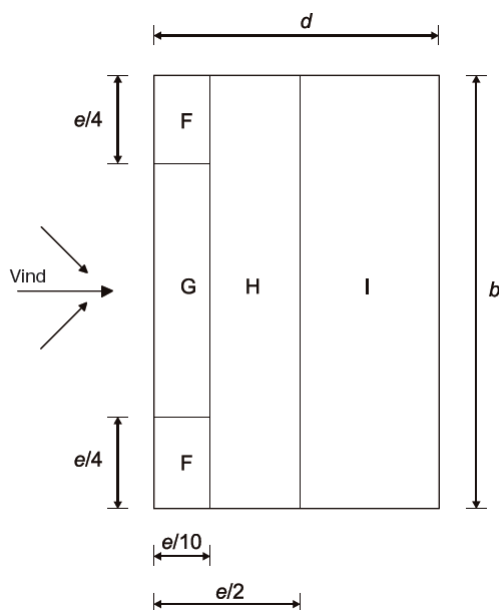
7.4 Formfaktorer for udvendige tryk på fladt tag

I projektet udføres tagkonstruktionen på maskinhallen som et fladt tag med brystninger. Et fladt tag er defineret som et tag med en maksimal hældning på 5°. Referencehøjden for flade tage med brystninger bør regnes til $z_e = h + h_p$ jævnfør figur 7.8.



Figur 7.8 – Referencehøjde for flade tage med brystninger

Ved udvendigt tryk på flade tage inddeles taget i 4 forskellige zoner - Zoner F, G, H og I. Dette er illustreret på nedenstående figur.



Figur 7.9 – Zoner for flade tage

Lasttilfælde 1 - Vind på tværs af taget

Ved vind på tværs af taget haves en brystning med en højde på 0,424 meter. Dette skal der tages hensyn til ved aflæsning af de enkelte formfaktorer på taget. Længderne og bredderne på de forskellige zoner kan bestemmes.

$$e = 2h = 19,4 \text{ m}$$

De enkelte længder kan beregnes ud fra de gældende kriterier:

$$F_d = \frac{e}{10} = \frac{19,4 \text{ m}}{10} = 1,94 \text{ m}$$

$$F_b = \frac{e}{4} = \frac{19,4 \text{ m}}{4} = 4,85 \text{ m}$$

$$G_d = F_d = 1,94 \text{ m}$$



$$G_b = b - 2 \cdot \frac{e}{4} = 97,6 \text{ m} - 2 \cdot \frac{19,4 \text{ m}}{4} = 87,9 \text{ m}$$

$$H_d = \frac{e}{2} - \frac{e}{10} = \frac{19,4 \text{ m}}{2} - \frac{19,4 \text{ m}}{10} = 7,76 \text{ m}$$

$$I_d = d - \frac{e}{2} = 40,8 \text{ m} - \frac{19,4 \text{ m}}{2} = 31,1 \text{ m}$$

For at tage stilling til brystninger, er det nødvendigt at kende forholdet mellem højden på brystningen h_p og højden fra terræn og op til brystningens start, h .

Forholdet mellem brystningshøjde og højden over terræn bestemmes:

$$\frac{h_p}{h} = \frac{0,424 \text{ m}}{8,9 \text{ m}} = 0,048$$

Tagtype	Zoner			
	F	G	H	I
Med brystninger	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
$\frac{h_p}{h} = 0,025$	-1,60	-1,10	-0,70	+0,20
				-0,20
$\frac{h_p}{h} = 0,048$	-1,42	-0,92	-0,70	+0,20
				-0,20
$\frac{h_p}{h} = 0,050$	-1,40	-0,90	-0,70	+0,20
				-0,20

Tabel 7.7 – Formfaktorer for udvendigt tryk på bygningens flade tag med brystninger

Lasttilfælde 1 - Vind på langs af taget

Der haves en skarp tagkant, når der er vind på langs af taget.

Værdien for e fastsættes:

$$2 \cdot h = 2 \cdot 9,7 \text{ m} = 19,4 \text{ m} < b = 40,8 \text{ m}$$

$$e = 19,4 \text{ m}$$

De enkelte længder og bredder bestemmes.

$$F_d = \frac{e}{10} = \frac{19,4 \text{ m}}{10} = 1,94 \text{ m}$$

$$F_b = \frac{e}{4} = \frac{19,4 \text{ m}}{4} = 4,85 \text{ m}$$



$$G_d = F_d = 1,94 \text{ m}$$

$$G_b = b - 2 \cdot \frac{e}{4} = 40,8 \text{ m} - 2 \cdot \frac{19,4 \text{ m}}{4} = 31,1 \text{ m}$$

$$H_d = \frac{e}{2} - \frac{e}{10} = \frac{19,4 \text{ m}}{2} - \frac{19,4 \text{ m}}{10} = 7,76 \text{ m}$$

$$I_d = d - \frac{e}{2} = 96,6 \text{ m} - \frac{19,4 \text{ m}}{2} = 86,9 \text{ m}$$

Ved vind på langs, gives sug på taget i zone F, G og H, mens trykket skifter mellem positive og negative værdier i zone I.

Tagtype	Zoner			
	F	G	H	I
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,10}$
Med skarp kant	-1,80	-1,20	-0,70	+0,2
				-0,2

Tabel 7.8 – Formfaktorer for udvendigt tryk på bygningens flade tag med skarp kant

7.5 Indvendigt vindtryk

Formfaktoren for indvendige tryk, c_{pi} , afhænger af størrelsen og fordelingen af åbninger i bygningens ydevægge samt taget. Når arealet af åbninger på en bygningsflade er mindst to gange arealet af åbninger og utætheder i bygningens øvrige flader, anses fladen for at være dominerende. I industrihallen er der ikke nogen dominerende åbninger, og derfor tages der udgangspunkt i DS/EN 1991-1-4 anbefalede C_{pi} værdier som er sat til +0,2 eller - 0,3, hvor den mest ugunstige af formfaktorerne anvendes.

7.6 Nettovindtryk på hallen

I dette afsnit vises resultater af vindlasten for de respektive zoner på bygningen.

Da peakhastighedsstrykket er større for en vind fra vest end den er for en vind fra nord, syd eller øst, vælges på den sikre side peakhastighedsstrykket for vinden fra vest, hvilket er $1,21 \text{ kN/m}^2$.

Resultatet af vindtrykket henføres i tabel nedenunder. Bogstavet a og b henviser til værdien af indvendig formfaktor for henholdsvis +0,2 og -0,3. For beregninger henvises til Bilagsmappen BP4.

Lasttilfælde 1a

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I_1	I_2
Vindtryk [kN/m^2]	-1,21	-0,73	-0,36	1,09	-0,12	-1,48	-0,87	-0,61	0,48	-

Tabel 7.9 – Vindtryk på flader



Lasttilfælde 1b

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I_1	I_2
Vindtryk [kN/m ²]	-1,82	-1,33	-0,97	0,48	-0,73	-2,08	-1,48	-1,21	-0,12	-0,61

Tabel 7.10 – Vindtryk på flader

Lasttilfælde 2a

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I_1	I_2
Vindtryk [kN/m ²]	-1,21	-0,73	-0,36	1,09	-0,12	-1,94	-1,21	-0,61	0,48	0,00

Tabel 7.11 – Vindtryk på flader

Lasttilfælde 2b

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I_1	I_2
Vindtryk [kN/m ²]	-1,82	-1,33	-0,97	0,48	-0,73	-2,54	-1,82	-1,21	-0,12	-0,61

Tabel 7.12 – Vindtryk på flader



8. konklusion

I rapporten er de nødvendige oplysninger forud for projekteringen af det samlede bygværk blevet fastsat. Dette indebærer alle relevante forudsætninger og forhold som er tilknyttet til de bærende konstruktioners projektering.

Der er bl.a. fastsat hvilke normer og standarder alle konstruktionsberegninger har taget udgangspunkt i. Derudover er de projektspecifikke forhold fastlagt, hvor bygværket er henført til konsekvensklasse CC2.

Lasterne, der påvirker bygværket, er fastlagt. Snelasten, der kan optræde på bygningens tage, er beregnet til $0,80 \text{ kN/m}^2$, dog kan der i visse områder optræde sneophobning og dette er der taget hensyn til. Vindlasten på bygningens udvendige arealflader er beregnet, hvor det har været nødvendigt at fortage en interpolation på grund af, at bygningen befinder sig mindre end 25 km fra Vesterhavet. Derudover er der taget hensyn til indvendig vindtryk på grund af bygningens åbninger.