

# *FUNDERING AF TILBYGNING AF STRØYBERGS PALÆ*

---



P2 PROJEKT - MODELLERNES VIRKELIGHED  
GRUPPE B149  
BYGGERI & ANLÆG  
AALBORG UNIVERSITET  
D. 27. MAJ 2015







**Første Studieår v/ Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet**  
Byggeri og Anlæg  
Strandvejen 12-14  
9000 Aalborg  
<http://www.tnb.aau.dk>

**Titel:**

**Projekt:**

P2-projekt: Modellernes virkelighed

**Projektperiode:**

Februar 2015 - Maj 2015

**Projektgruppe:**

B149

**Deltagere:**

Jacob Scharling Jørgensen  
Karoline Vestergaard Hansen  
Katrine Nørgaard Reberholt  
Marc Lund Nielsen  
Michael Elgaard Mortensen  
Morten Rask Jensen  
Nikolaj Skov Gravesen

**Vejledere:**

Gitte Lyng Grønbech  
Johan Clausen  
Katrine Rabjerg Meltofte

**Oplagstal: 9**

**Sidetal: 79**

**Bilag: 4**

**Afsluttet 27-05-2015**

**Synopsis:**

Dette P2-projekt omhandler en tilbygning til Strøybergs Palæ.

Strøybergs Palæ er beliggende ved havnen i Aalborg inden for Vækstaksen fremsat af Aalborg Kommune. Bygningen skal laves henfør lokalplan 1-1-107. Projektet beskriver tilbygningen ud fra to perspektiver. En kontekstuel del, hvor der lægges fokus på Aalborgs udvikling gennem tiden, og dens nuværende og planlagte udvikling, heriblandt Vækstaksen. Der vil blive redegjort for disse og diskuteret, om den planlagte udvikling overhovedet er realistisk. Den tekniske del vil have fokus på dimensioneringen af tilbygningen og dens fundament, hvor der opstilles et statisk system samt en række permanente og variable laster, som tilbygningen skal dimensioneres ud fra, og den endelige ståltype og stålprofil bestemmes ud fra gennem beregninger for anvendelses- og brudgrænsetilstanden. Der vil ligeledes blive redegjort for Aalborgs geologi og forskellige jordarters udseende og styrke. Ud fra dette vil der blive angivet en fundamenttype og udregnet størrelsen af det, så fundamentet har tilstrækkelig bæreevne til dimensioneringen af tilbygningen.

Gennem beregningerne for brudgrænsetilstanden er det bestemt, at ståltypen S235 og profil nr. 450 har en tilstrækkelig styrke, og at det statiske system for konstruktionen kan holde til lasterne. Dog er udbøjningerne gennem anvendelsesgrænsetilstanden bestemt til at overskride de acceptable værdier, og kan derfor ikke godtages. RET EVT TIL!

*Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.*



# Forord

---

Denne rapport er udarbejdet af gruppe B149, en gruppe 2. semesters studerende på Byggeri og Anlæg uddannelsen ved Aalborg Universitet. *Modellernes Virkelighed* er det overordnede tema for projektet, med undertemaet *Vækstaksen i Aalborg*. Projektet omhandler en tilbygning ved Strøybergs Palæ.

Der rettes stor tak til vejledere Gitte Lyng Grønbech, Johan Clausen og Katrine Rabjerg Meltofte for vejledning og konstruktiv kritik.

## Læsevejledning

Der vil igennem rapporten fremtræde kildehenvisninger, og disse vil være samlet i en kilde liste bagst i rapporten. Der er i rapporten anvendt kildehenvisning efter Harvardmetoden. Denne henvisning fører til kildelisten, hvor bøger er angivet med forfatter, titel, udgave og forlag, mens internetsider er angivet med forfatter, titel og dato. Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, dvs. den første figur i kapitel 7 har nummer 7.1, den anden, nummer 7.2, osv.

---

Jacob Scharling Jørgensen

---

Karoline Vestergaard Hansen

---

Katrine Nørgaard Reberholt

---

Marc Lund Nielsen

---

Michael Elgaard Mortensen

---

Morten Rask Jensen

---

Nikolaj Skov Gravesen



# Indholdsfortegnelse

---

<b>Kapitel 1 Indledning</b>	<b>1</b>
<b>Kapitel 2 Problemformulering</b>	<b>3</b>
2.1 Problemformulering og problemstillinger . . . . .	3
2.2 Problemafgrænsning . . . . .	3
<b>Kapitel 3 Aalborg i vækst</b>	<b>5</b>
3.1 Aalborg gennem tiden . . . . .	5
3.2 Strøybergs Palæ . . . . .	6
<b>Kapitel 4 Et fremtidigt Aalborg</b>	<b>7</b>
4.1 Kommuneplan . . . . .	7
4.2 Aalborg Kommuneplan . . . . .	8
4.2.1 Aalborg Vækstakse . . . . .	9
4.3 Vækstaksens betydning . . . . .	11
4.3.1 Er visionerne realistiske? . . . . .	11
4.3.2 Hvorfor udvide Strøybergs Palæ? . . . . .	13
<b>Kapitel 5 Udvikling af området</b>	<b>15</b>
5.1 Lokalplan . . . . .	15
5.2 Lokalplan 1-1-107 . . . . .	16
5.2.1 Fra gammel til ny lokalplan . . . . .	18
5.3 Delkonklusion . . . . .	19
<b>Kapitel 6 Dimensionering af stålprofiler</b>	<b>21</b>
6.1 Laster . . . . .	23
6.1.1 Permanente laster . . . . .	23
6.1.1.1 Egenlast . . . . .	23
6.1.1.2 Jordlast . . . . .	28
6.1.2 Variable laster . . . . .	29
6.1.2.1 Snelast . . . . .	29
6.1.2.2 Vindlast . . . . .	31
6.1.2.3 Nyttelast . . . . .	37
6.2 Lastkombinationer . . . . .	37
<b>Kapitel 7 Brudgrænsetilstand</b>	<b>43</b>
7.1 Reaktioner . . . . .	43
7.2 Snitkræfter . . . . .	45
7.3 Spænding og dimensioneringskriterier . . . . .	49
7.3.1 Forskydningsspænding . . . . .	50
7.3.2 Normalspænding . . . . .	54

7.3.3 Spændingstilstand . . . . .	55
<b>Kapitel 8 Anvendelsesgrænsetilstand</b>	<b>57</b>
8.1 Moment . . . . .	57
8.2 Bjælkens differentialelligning . . . . .	58
<b>Kapitel 9 Geologi</b>	<b>61</b>
9.1 Jord . . . . .	61
9.1.1 Beskrivelse af jord og jordtyper . . . . .	61
9.1.2 Jordtypernes udseende og dannelsesmekanismer . . . . .	61
9.1.3 Jords styrke og stivhed . . . . .	62
9.2 Aalborgs geologi . . . . .	64
9.3 Boreprofiler . . . . .	65
<b>Kapitel 10 Dimensionering af fundament</b>	<b>67</b>
10.1 Fundering . . . . .	67
10.2 Forsøg . . . . .	68
10.2.1 Forsøg 1: Vandindhold . . . . .	68
10.2.2 Forsøg 2: Sigteanalyse . . . . .	69
10.2.3 Forsøg 3: Kornvægtfylde . . . . .	71
10.2.4 Forsøg 4: Løs og fast lejring . . . . .	72
10.2.5 Beregning af friktionsvinkel . . . . .	73
10.3 Bæreevne for fundamentet . . . . .	74
10.4 Delkonklussion . . . . .	76
<b>Kapitel 11 Konklusion</b>	<b>79</b>
<b>Litteratur</b>	<b>81</b>
<b>Appendiks A Beregning af peakhastighedstrykket</b>	<b>85</b>
<b>Appendiks B Forsøg: Vandindhold</b>	<b>87</b>
<b>Appendiks C Forsøg: Sigteanalyse</b>	<b>89</b>
<b>Appendiks D Forsøg: Kornvægtfylde</b>	<b>93</b>
<b>Appendiks E Forsøg: Løs og fast lejring</b>	<b>95</b>
<b>Appendiks F</b>	<b>97</b>

# Indledning 1

---

Aalborg Kommune er med et indbyggertal på over 200.000 og et areal på cirka  $1,140\text{ km}^2$  en af landets største kommuner [Statistik, a]. Det område, som Aalborg Kommunen dækker, er vist på Figur 1.1.



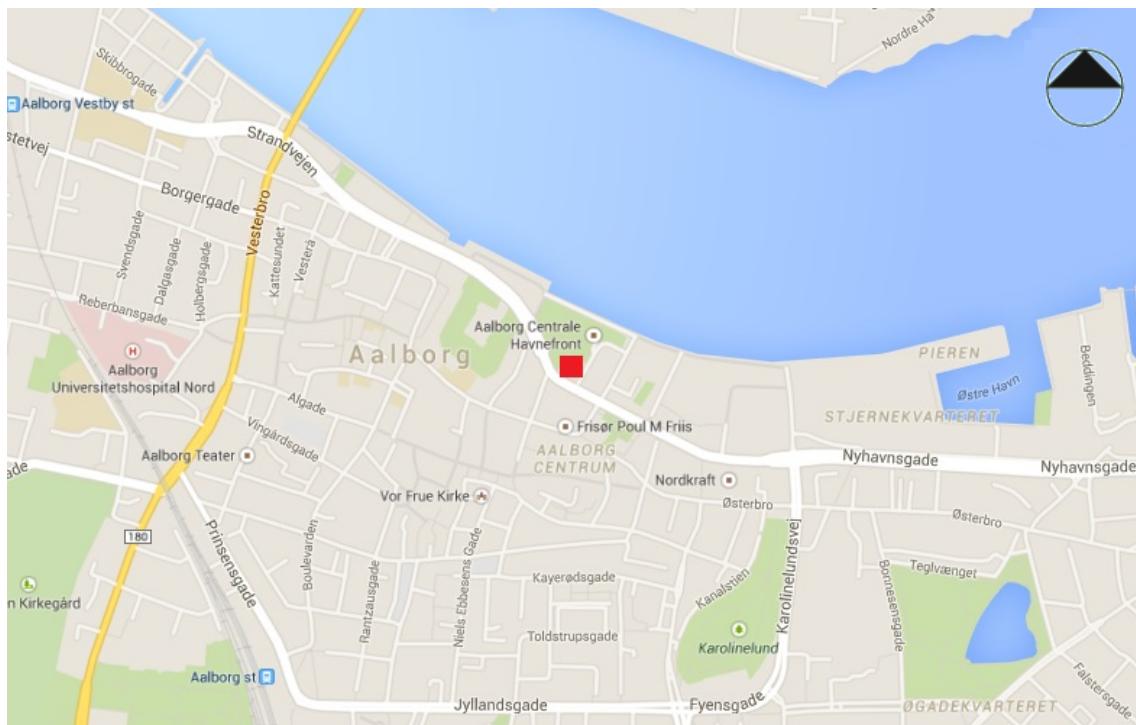
*Figur 1.1.* Aalborg Kommune

Aalborg er en tidligere industriby, og førhen var industriområderne placeret i Aalborg Centrum. Nye planer for Aalborg har ført denne industri ud i nogle yderpunkter af Aalborg by. Derfor har kommunen nye visioner om at flytte kultur, studieliv og turisme ind, hvor der før var industri. Kommunens visioner omkring byens udvikling fremgår af kommuneplanen, hvor det primære fokus i denne rapport vil være et område gennem Aalborg, der er tiltænkt meget vækst; dette betegnes som Vækstaksen.

Indenfor de seneste 10 år har Aalborgs havnefront gennemgået en stor udvikling. Denne er stadig i gang, hvilket ses ved, at der kommer flere boligbyggerier til havnen, som Strøybergs Palæ er en del af.

Det har siden år 2010 været på tale at lave en tilbygning til den bevaringsværdige bygning Strøybergs Palæ. Hovedbygningen af Strøybergs Palæ er fra år 1900 [Kulturstyrelsen, b], mens sidebygningen er fra år 1908 [Kulturstyrelsen, c]. Strøybergs Palæ er beliggende centralt i Aalborg ved Slotspladsen, der er en ca. 200 m vejstrækning ved Aalborg

Havnefront, samt i nærheden af museet Utzon Centret og overfor shoppingcentret Friis. Figur 1.2 viser Strøybergs Palæs beliggenhed i Aalborg.



**Figur 1.2.** Strøybergs Palæs beliggenhed

Når der skal anlægges nye arealer, bygninger, veje osv., skal det opføres i henhold til en lokalplan, der dækker et mindre område inden for kommunen, og har til formål at styre udviklingen inden for dette område ved hjælp af fastlagte regler og målsætninger. Den gældende lokalplan for området ved Strøybergs Palæ er lokalplan 1-1-107.

Med udgangspunkt i lokalplanen skal tilbygningen dimensioneres; herunder dets stålprofiler og fundament.

Tilbygningens mål bestemmes ud fra lokalplanen og der vælges en ståltype og stålprofil. Herudfra vurderes det, om konstruktionen har en tilstrækkelig bæreevne. Brud- og anvendelsesgrænsetilstanden beregnes, da disse er dimensionsgivende for konstruktionen. Brudgrænsetilstanden giver et mål for, om der opstår brud i konstruktionens stålrammer, og anvendelsesgrænsetilstanden giver et mål for, hvor stor udbøjning stængerne oplever ved lasterne.

Før der kan foretages en dimensionering af fundamentet, skal det besluttes, hvilken funderingstype der skal bruges. Derfor er de geologiske forhold for området omkring Strøybergs Palæ vigtige at kende til, før en tilbygning kan udføres, da konstruktionen skal bæres af jordlagene under bygningen. I denne rapport ønskes en bestemt funderingstype; direkte fundering. Til bestemmelse af fundamentet ønskes friktionsvinklen bestemt, hvilket vil gøres ud fra fire laboratorieforsøg, som vil blive beskrevet i rapporten.

# Problemformulering 2

---

## 2.1 Problemformulering og problemstillinger

For at gennemføre planen om en tilbygning til Strøybergs Palæ kræves det, at lokalplanen for området stemmer overens med kommuneplanen, før at denne kan vedtages. Konstruktionen skal konstrueres ud fra denne og de fastsatte normer, som gælder for lokalplan 1-1-107, hvor bygherrer så har mulighed for at vælge det specifikke design for udseendet samt rammen for tilbygningen og dennes dimensioner, således at konstruktionen kan holde. Dertil skal der vælges en korrekt ståltype, profil og de rette dimensioner, således at konstruktionen har en tilstrækkelig bæreevne, og samtidig tilgodeser alle parter for konstruktionen. Hertil skal der også tages højde for de geologiske forhold for området for at bestemme, hvordan tilbygningen skal funderes.

- Har Vækstaksen betydning for tilbygningen til Strøybergs Palæ?
- Hvilken ståltype og stålprofil skal der anvendes ved tilbygningen til Strøybergs Palæ?
- Hvilken funderingstype skal der benyttes ved området omkring Strøybergs Palæ?

## 2.2 Problemafgrænsning

Dette projekt beskriver tilbygningen til Strøybergs Palæ ud fra både et kontekstuel og teknisk aspekt. I den kontekstuelle del lægges der vægt på beskrivelsen af Aalborg Kommuneplan samt udviklingen af områderne inden for Vækstaksen; hertil i særdeleshed området omkring Aalborg Havnefront og Strøybergs Palæ, hvor Vækstaksens betydning for tilbygningen, samt tilbygningen relevans, diskuteres. Dertil beskrives og analyseres lokalplanen for området omkring Strøybergs Palæ, Lokalplan 1-1-107.

Den tekniske del belyser tilbygningen af Strøybergs Palæ ud fra to emner; konstruktionen af tilbygningen samt de geologiske forhold for området.

I konstruktionsdelen opstilles der et statisk system for tilbygningen, som derefter dimensioneres for en række laster.

I den geotekniske del beskrives de geologiske forhold, som gør sig gældende for Aalborg, hvortil der er foretaget jordbundsanalyser, for at finde frem til, hvilken type fundering der skal benyttes for tilbygningen.



# Aalborg i vækst 3

---

Aalborg har stor fokus på udviklingen af byen, og flere centrale områder i byen har indenfor de seneste fem år gennemgået en større renovering og fornyelse. Følgende afsnit vil beskrive byens udvikling helt tilbage fra dens grundlæggelse og frem til i dag. Slutteligt vil en af Aalborgs gamle og bevaringsværdige bygninger, Strøybergs Palæ, beskrives, da der er planer om en tilbygning.

## 3.1 Aalborg gennem tiden

Aalborg er en by fra omkring år 1040, og er i dag Danmarks fjerde største by [Danske, 2014]. Byen har gennem tiden udviklet sig til en købstadsby og handelscentrum, grundet dens beliggenhed ved Limfjordens smalleste punkt og udmundingen af tre større åer [Dansk Center for Byhistorie]. Beliggenheden har gjort det muligt for Aalborg, at udvikle sig i størrelse og som by. I 1500-tallet nød byen godt af sild- og kornekspedition til Norge, samt studeeksport til Tyskland [Dansk Center for Byhistorie]. Da Limfjorden var sandet til, skulle alt eksport vest for Aalborg gå gennem Aalborg for at blive fragtet til Norge og andre steder. Aalborg fik velstand og flere indbyggere, der i 1600-tallet nåede op på omkring 4.000 indbyggere [Dansk Center for Byhistorie, b]. På daværende tidspunkt blev Aalborg Danmarks anden største by. Dette varede ikke ved, da andre jyske byer blev prioriteret højere af kongen, og derved udviklede de sig mere eksponentielt i det kommende århundrede end Aalborg. Det, at Limfjorden brød igennem på vestsiden og Danmark mistede Norge, gavnede heller ikke Aalborgs position i forhold til handlen [Dansk Center for Byhistorie, b].

Til trods for dette fortsatte Aalborg alligevel med at udvikle sig, og 1800-tallets industrialisering fik indbyggertallet til at stige stødt. Fra 1830'erne flyttede flere industrier til Aalborg, heriblandt Spritfabrikken (forløberen for De Danske Spritfabrikker) og C.W Obels Tobaksfabrik.

De store kridt- og lerfund i undergrunden ved Aalborg lagde grunden for cementindustrien, hvor Aalborg Portland, som den største cementfabrik, alene beskæftigede 450 ansatte. Mange flere industrier blev grundlagt eller flyttede til Aalborg, og en del af disse var blandt landets største inden for deres område. Dette fik indbyggertallet til at stige gennem en 50-årig periode til 30.000. Det var ikke kun indbyggertallet, der steg. For at Aalborg by kunne følge med eksporten, som dengang hovedsageligt foregik via skibsfragt, udvidede byen havnen, som i starten af 1900-tallet blev Danmarks næststørste [Dansk Center for Byhistorie].

Befolkningsstallet er siden 1990'erne vokset, og er i dag stadig stigende [Dansk Center for Byhistorie, b]. Dette er resultatet af, at Aalborg har udviklet sig fra at være en industriby til at være en kompetenceby [Kommune, 25.11.2013b]. Hovedårsagen til denne udvikling

er, at størstedelen af industrien, som Aalborg var kendt for at have i centrum af byen, og som var hoveddelen af identiteten af Aalborg, er flyttet til yderkanterne af byen. I stedet er der nu fokus på at have et levende Aalborg, som skal kendes for at være en kompetenceby [Kommune, 25.11.2013b].

Aalborg Havnefront er blevet et nøglepunkt for Aalborg Kommune. Der er de sidste 10 år foretaget mange ændringer ved havnefronten for at gøre Aalborg mere attraktiv og give den en ny identitet; som byen for kompetence og innovation [A/S et al., 2009].

Disse ændringer har blandt andet været, at dele af den industri, som lå ved havnefronten, er flyttet ud af det centrale Aalborg til mere fremkommelige steder [Kommune, 25.11.2013b]. Dette har givet plads til et område med mere serviceerhverv. Denne type erhvervsområde gør det også muligt at opføre boliger i området, da der ikke vil være de samme støjgener, som der ville komme fra et industriområde. Denne udvikling fik muligheden for at tage fart, efter der blev lavet en ændring i planloven den 1. juli 2003, der ændrede bestemmelserne for byomdannelse. Denne ændring gjorde det muligt for kommunerne at omdanne tidligere industriområder til blandt andet servicebygninger og boligområder [Johansen og Mathiasen, 2004]. En del af denne udvikling har været bebyggelsen af flere forskellige kollegieboliger som for eksempel Bikuberne ved Utzon Parken og Larsen Waterfront. Disse boliger ligger tæt op ad nye kulturelle bygninger som Utzon Centeret og Musikkens Hus, samt Nordkraft, som tidligere var et kulkraftværk, men i dag er omdannet til et kulturhus med mulighed for både sportsaktiviteter og kulturelle oplevelser. Disse byggerier viser den udvikling, som Aalborg Havnefront gennemgår fra industriområde til boligområde. Havnefronten er i en stadig udvikling, da der fortsat kommer flere boligbyggerier til. Det har også givet anledning til tilbygninger, her i blandt en kommende tilbygning til den bevaringsværdige bygning Strøybergs Palæ, der ligger ved havnefronten [Kommune, b].

## 3.2 Strøybergs Palæ

Lokalplan 1-1-107 har opdelt området, omfattende Strøybergs Palæ, i to delområder. Delområde A med matrikelnummer 518g omfatter den bevaringsværdige sidebygning til Strøybergs Palæ, og delområde B med matrikelnummer 519b omfatter den bevaringsværdige hovedbygning til Strøybergs Palæ [Kommune, Oktober 2012, s. 7]. Hovedbygningen ligger på Gammel Havn 1, og er fordelt på stueetage, 1. sal, 2. sal samt kælder og tagetage, mens sidebygningen ligger på Nyhavnsgade 9 og er fordelt på stueetage, 1. sal, 2. sal og 3. sal samt kælder og tagetage. Ejendommen er op til 22 m høj og har et grundareal på 1037 km<sup>2</sup> [Forvaltning, 1908-2015].

Strøybergs Palæ er siden opførelsen blevet anvendt til mange forskellige formål. Nyhavnsgade 9 blev opført som en ejerlejlighedsejendom, opdelt i ni ejerlejligheder af forskellig størrelse, og Gammel Havn 1 blev på daværende tidspunkt primært brugt til erhverv. Kælderen blev i år 1920 omdannet fra hestestald til garage, og er derudover blevet brugt som lager [Forvaltning, 1908-2015].

Siden år 2010 har det været på tale, at lave en tilbygning til Strøybergs Palæ, og omdanne bygningen til lejligheder med udsigt over Limfjorden [A/S, 2008]. I den forbindelse blev lokalplan 1-1-107 udarbejdet med et ønske om at lave denne tilbygning. Området ønskes hovedsageligt anvendt til kontor- og serviceerhverv samt boligformål [Kommune, Oktober 2012, s. 7].

# **Et fremtidigt Aalborg**

**4**

---

Nedenstående afsnit vil behandle Aalborgs kommuneplan med primært fokus på Aalborgs Vækstakse, der er ét af fem hovedpunkter i kommuneplanen. En beskrivelse af de fire resterende fokuspunkter vil give en forståelse for, at kommunen har flere tanker om byens udvikling, og alle fem fokuspunkter har relevans for hinanden og gavner til byens udvikling.

## **4.1 Kommuneplan**

En kommuneplan er kommunens overordnede plan for kommunens udvikling. Inden for en periode på 12 år fastlægger kommunen de overordnede mål og retningslinjer for kommunens udvikling såvel i byerne som i det åbne land [Aalborg Kommune, 25.11.2013a].

En kommuneplan består af: En hovedstruktur, retningslinjer, kommuneplanrammer, bilag og tilhørende planredegørelse.

Hovedstrukturen er den overordnede, strategiske og sammenfattende fysiske plan for kommunen. Den fastlægger de overordnede mål for udviklingen inden for de enkelte sektorer for hele kommunen og for de enkelte områder [Aalborg Kommune, 25.11.2013a].

Retningslinjerne udgør de overordnede rammer for kommuneplanlægningen. De fastsætter principperne for arealanvendelsen i kommunen, og danner ligeledes grundlag for kommunens administration af planlovens landzonebestemmelser, samt administrationen af kompetencer indenfor anden lovgivning, herunder natur-, miljø-, bygge- og vejlovgivningen og husdyrloven. Retningslinjerne angiver sammen med områdeudpegningerne hvilke forhold, der skal tages hensyn til i administrationen, og hvilke konkrete skøn der skal foretages for disse områder [Aalborg Kommune, 25.11.2013b].

Kommuneplanrammerne styrer den overordnede arealanvendelse og danner ramme for indholdet i nye lokalplaner. Planrammerne fastlægger dermed mål, muligheder og begrænsninger for arealanvendelse i de enkelte dele af kommunen. Kommuneplanrammerne har to niveauer: 1) by/bydel/landområde og 2) rammeområder. Det første niveau "by/bydel/landområde", behandler områdets særlige problemer, værdier og muligheder i en sammenhæng. Det andet niveau "rammeområder", er det mest detaljerede niveau i kommuneplanen rent geografisk. Her fastsættes de bestemmelser, der danner grundlag for lokalplaner [Aalborg Kommune, 31.12.2006b].

Bilag er de generelle rammebestemmelser, hvor der henvises til de aktuelle bilag fra de enkelte emner [Aalborg Kommune, 23.11.2009].

Planredegørelser beskriver forudsætningerne for, og ændringerne i den konkrete planlægning. Byrådet offentliggører, sammen med alle kommuneplanforslag eller med forslag til

komuneplantillæg<sup>1</sup>, en redegørelse om planens baggrund og sammenhæng med anden planlægning. Kommuneplanen ledsages også af en planredegørelse og planstrategi, hvilken laves minimum hvert fjerde år i tilknytning til kommunens budget. Denne er byrådets instrument og baner vejen for at realisere kommuneplanens mål. Her oplyses blandt andet om kommuneplanens væsentlige forudsætninger, planlægninger der er gennemført det forgangne år, det kommende års kommuneplaninitiativer samt byrådets vurdering af og strategi for udviklingen for både det kommende år (budgetåret), de kommende fire år (overslagsårrene) og en længere periode på 12 år. Desuden laves der jævnligt statusredegørelser, som giver et overordnet billede af kommunens fysiske udvikling og præsenterer de økonomiske tiltag, der knytter sig til kommunens sektorer og geografiske områder [Aalborg Kommune, 31.12.2006a].

## 4.2 Aalborg Kommuneplan

Aalborg Kommune er opdelt i fem fokuspunkter:

1. Byerne - et godt sted at bo hele livet
2. Nødvendige forbindelser - mobilitet
3. Det åbne land
4. Bæredygtighedsprofil
5. Aalborg - den attraktive storby

Et af Aalborg Kommuneplans fem fokuspunkter er “Byerne - et godt sted at bo hele livet”. De større byer under Aalborg Kommune har, i kraft af nærheden til Aalborg, en god infrastruktur, et varieret serviceudbud samt tilstrækkeligt befolkningsunderlag. Det er et særligt potentiale for byvækst, der skal udnyttes for at understøtte Aalborg som Norddanmarks Vækstdynamo.

Byvæksten skal have særligt fokus på nye, kreative boligformer, som tilgodeser klimaudfordringer, demografiske udfordringer og bæredygtighed.

Ikke kun de større byer nær Aalborg har en væsentlig rolle i projektet. Mindre byer og landsbyer er også i fokus, og har en særlig rolle som opland til Aalborg med store kvaliteter indenfor bosætning, rekreation og friluftsliv [Kommune, 25.11.2013a].

Fokuspunktet “Nødvendige forbindelser - mobilitet” omhandler byens behov for forbindelser, der kan håndtere transportbehovet og gøre det mere attraktivt at benytte offentlig transport såsom bus og tog, samt at tage cyklen, da Aalborg Kommune har en målsætning om at blive Danmarks førende cykelby. Kommunens mål er færre bilkøer, god adgang til indkøb, service og arbejdspladser samt sikring af forbindelser, der understøtter en effektiv godstransport. Derudover satser Aalborg på en letbane som det bærende element i byen [Kommune, 25.11.2013d].

Fokuspunktet “Det åbne land” omhandler benyttelsen og beskyttelsen af det åbne land. Dette skal ske på et bæredygtigt grundlag med plads til oplevelser, natur, erhvervsinteresser og vedvarende energi. Det åbne land skal danne ramme om levende og aktive områder

---

<sup>1</sup>Opstår der problemer med at realisere en lokalplan ud fra kommuneplanen, anvendes der et kommuneplantillæg, som er et supplement til den eksisterende kommuneplan. Denne kan justere og ændre bestemmelserne i kommuneplanen, for at gøre det muligt at realisere lokalplanen [Kommune, c].

[Kommune, 25.11.2013c].

Aalborg Kommune har også stor fokus på bæredygtighed og har dertil punktet “Bæredygtighedsprofil”. Udviklingen af et bæredygtigt samfund omhandler flere punkter, såsom at passe på miljøet, klimaet og naturen, om at bygge byer for mennesker og om at få det bedste ud af den nuværende økonomiske virkelighed. En bred tilgang til bæredygtighed er derfor udgangspunktet [Kommune, 25.11.2013e].

#### 4.2.1 Aalborg Vækstakse

Det femte og sidste fokuspunkt i Aalborgs kommuneplan er “Aalborg - den attraktive storby”. Dette fokuspunkt indeholder yderligere nogle underpunkter, hvor der vil blive fokuseret på tre af punkterne; 1) vækstaksen som byens motor, 2) byudviklingsprincipper for Aalborg og 3) fokus på bykvalitet.

Aalborg Kommune har valgt at koncentrere sig om et vækstbånd, kaldet Vækstaksen, som skal danne grundlag for Aalborgs udvikling, hvor der er fokus på det generelle udviklingsprincip [Kommune, 25.11.2013b]. Området går fra Aalborg Lufthavn i vest, gennem midtbyen, til Campus og videre ud til Østhavnen, hvilket illustreres på Figur 4.1.

Blandt Vækstaksens mest centrale elementer er færdiggørelsen og videreudviklingen af en række større områder i Aalborg, som for fremtiden skal være med til at skabe Aalborg som storby og præge dens identitet. Gennem disse færdiggørelser vil bykvaliteten øges, og byen vil blive mere attraktiv. Der lægges derfor stor vægt på arkitektoniske overvejelser samt historiske skulpturer og monumenter, når der skal bygges og renoveres [Kommune, 25.11.2013b].

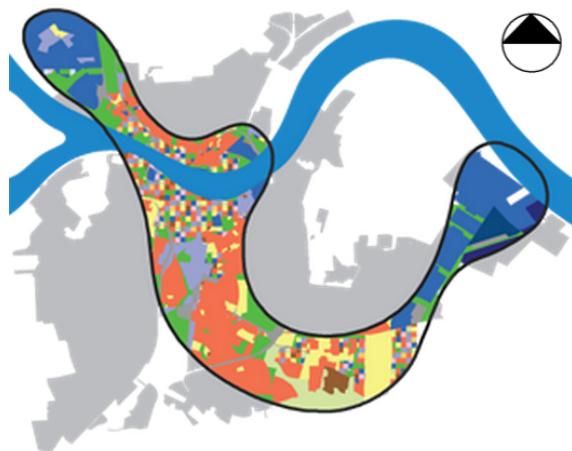
Her har havnefronten, som et af de første områder, gennemgået en stor renovering, hvor der er etableret både Aalborg Havnebad, Jomfru Ane Parken og sportsfaciliteter. Derudover blev Tivoli Karolinelund fjernet i 2011, og i 2012 åbnede en ny Karolinelund park, som nu danner ramme for mange forskellige nichekulturer, såsom koncerter, Platform 4, legepladser og meget mere, og parken er fortsat under udvikling [VisitAalborg, a] [VisitAalborg, b].

Aalborg er gennem renoveringen af den nye havnefront også vokset som kulturbyp, og i dag er kultur blevet en bærende del af byen, hvor der findes KUNSTEN Museum, Aalborg Kongres & Kultur Center, Nordkraft samt det nye Musikkens Hus, der åbnede i 2014, hvor der hver uge afholdes forskellige koncerter og andre arrangementer. Dette er alt sammen med til at styrke Aalborg som vækstby og byens erhvervsturisme [Kommune, 25.11.2013b]. Ligeledes er der planer om en ny kulturbro på Jernbanebroen, som også skal være med til at styrke kulturen i Aalborg og Aalborg Kommune. Ved at styrke kulturen styrkes bykvaliteten også, og byen bliver en levende by, hvor det er muligt at binde shopping, café og kulturliv sammen [Aalborg] [VisitAalborg, c].

Den gamle Eternitgrund i Aalborg havde i en lang årrække stået ubrugt hen, men gennem de sidste fem år er der etableret både studieboliger, supermarkeder, fitnesscenter og et nyt legeland for børn. Virksomheder som Plus Bolig og COWI er ligeledes flyttet ned på Eternitten, og i dag er Eternitten blevet en stor drivkraft for Aalborg, hvor der fortsat er fremtidige planer om grønne arealer [Kommune, a].

Iværksættelsen af Vækstaksen er i fuld gang, og inden for den nærmeste fremtid skal

også Godsbanearalet og det østlige Aalborg udvikles, for at øge oplevelsesmulighederne, kulturtildelene og skabe attraktive og bæredygtige livsvilkår. Det er dog ikke kun nybyggerier, som Vækstaksen har fokus på. For Aalborg Kommune er det også vigtigt, at vedligeholde de gamle bygninger, for at opretholde byens historiske identitet [Kommune, 25.11.2013b].



**Figur 4.1.** Aalborgs Vækstakse [Kommune, 25.11.2013b]

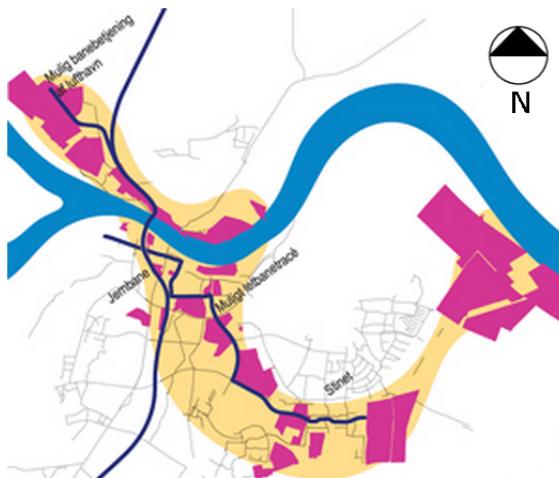
Vækstaksens område skal være attraktiv for alle aldersgrupper og skal derfor have noget at tilbyde hver enkelte borgere, og skal ligeledes være med til at skabe oplevelsesmuligheder og kulturtildel.

En stor del af planerne for Vækstaksen er byfortætning, mobilitet, studieby og miljø [Kommune, 25.11.2013b]. Der er i Aalborg Kommune stor udviklingspotentiale inden for byfortætning. På Figur 4.2 ses udviklingspotentialet i Vækstaksen. De lilla markerede områder er der hvor Aalborg Kommune har bedst udviklingspotentiale [Kommune, 25.11.2013b].

Dette udviklingspotentiale er i form af ny bebyggelse, tilbyggelse og omdannelse af boliger, arbejdspladser og naturområder. Byfortætning kan resultere i en meget presset infrastruktur, derfor er mobilitet et essentielt punkt for optimering af byens potentiale [Kommune, 25.11.2013b]. Det er vigtigt, at der er let og hurtigt adgang til offentlig transport, og det skal gøres mere attraktivt, at tage cyklen. Målet er, at få en stor by til at opfattes som en "lille by", ved at gøre transport lettilgængeligt og derfor nemt at komme fra bydel til bydel. Infrastrukturen vil styrkes blandt andet via en cykelmotorvej samt en kommende letbane, som skal forbinde Østhavnen, Campus, det kommende superhospital i Aalborg Øst, midtbyen og ud til Aalborg Lufthavn [Kommune, 25.11.2013b].

Ved Vækstaksens to endepunkter ligger Aalborgs største industriområder, Aalborg Østhavn og området ved Aalborg Lufthavn. Disse industriområder er kommet til, efter industrifirmaer er begyndt at flytte fra havnefronten og ud til yderkanten af Vækstaksen. Trods denne flytning forbliver Aalborg en erhvervsby samtidig med, at den gradvist omdannes til en studieby. De store industrifirmaer er stadig vigtige for Aalborg, da de er med til at skabe omsætning og arbejdspladser [Kommune, 25.11.2013b].

Da Aalborg gradvist omdannes til en studieby, er det vigtigt, at der i Vækstaksen støttes op om studielivet og studiemiljøet, da 10% af Aalborg Kommunes befolkning består af studerende [Universitet]. Et godt studiemiljø vil styrke innovation, konkurrence og vækst



**Figur 4.2.** Udviklingspotentiale [Kommune, 25.11.2013b]

i erhvervslivet. Det er nødvendigt med gode uddannelsesmuligheder, faciliteter samt ungdomsboliger til de studerende, hvilket også vil gøre det attraktivt for udefrakommende at studere i Aalborg. Centrum for studielivet i Aalborg udspringer fra Campus i Aalborg Øst, hvor størstedelen af de videregående uddannelser findes [Kommune, 25.11.2013b].

Aalborg Kommune ønsker også at udvikle byens natur og udendørsliv. Til at opnå dette vil kommunen opføre parker, stisystemer og vandløb. Vandløbene vil give byen historisk identitet, samtidig med at de vil beskytte byen under eventuel øget vandstand, da de kan forsinke vandet [Kommune, 25.11.2013b]. Formålet med parkerne og et naturregert Aalborg er at skabe et sundhedsfremmende forhold for alle aldersgrupper og beskytte klimaet. Desuden vil Aalborg Kommune gøre Aalborg til en miljøvenlig storby, som antages at gøre byen mere attraktiv, og dermed øge indbyggertallet. Derfor vil Aalborg Kommune genoprette naturen og give velfærd til byens borgere [Kommune, 25.11.2013b].

## 4.3 Vækstaksens betydning

Formålet med Vækstaksen er, at styrke Aalborg som by, og der er en forventning fra Aalborg Kommune om, at byen bliver Nordjyllands Vækstdynamo, men er dette realistisk? Nedenstående afsnit vil stille spørgsmålstege ved Vækstaksen, og diskutere, hvilken sammenhæng Strøybergs Palæ og Vækstaksen har med hinanden. I den forbindelse vil der diskuteres, hvorfor der ønskes en tilbygning, og hvorfor det netop er i dette område, det er fordelagtigt at udvide.

### 4.3.1 Er visionerne realistiske?

Det er fordelagtigt at udvide samt udvikle i Vækstaksen, da områderne samt virksomhederne er drivkraften for Aalborg [Aalborg, 2014a], og det er her, at byens liv er, og fremtiden skal skabes. Selvom områderne i dag fungerer som drivkraft, skal disse stadig videreudvikles, da Aalborg er en by i stor vækst, hvilket afspejles af både stigende indbyggertal og antal virksomheder, som flytter til og skabes i Aalborg [Statistik, b][Junker]. Derfor kan Aalborg Kommune ikke blot stille sig tilfreds med de nuværende tilstande, da byen skal udvides, for at være forberedt på fremtiden; ellers er der ikke plads til udviklingen, og den

vil sænkes, gå helt istå eller i værste tilfælde falde.

Udviklingen af byen vil primært ske gennem en byfortætning, da de centrale områder allerede i dag er fyldt med liv samt kultur, erhverv og uddannelse. Der er altså ikke tale om store udvidelser af områderne, men snarere optimeringer af de allerede eksisterende områder, og derfor kan infrastrukturen opleve problemer.

I takt med at indbyggertallet stiger kan det formodes at antallet af biler vil stige. Derfor kan spørgsmålet stilles, om det er realistisk med en fortætning af byen samtidig med, at Aalborg Kommune har en målsætning om, at det skal være let at færdes i byen som fodgænger, cyklist og med offentlig transport [Kommune, 25.11.2013b]. Dette afspejler sig i trafikken omkring Nyhavnsgade, som strækker sig fra Nordkraft forbi Strøybergs Palæ og videre langs med havnefronten. Her er vejen ændret fra en 4-sporet vej til en 2-sporet. Derfor er antallet af bilister næsten halveret, fra 20.500 (ÅDT) til 11.000 (ÅDT), og hastigheden er sænket [Kommune, Oktober 2012, s. 6]. Selvom Aalborg Kommune har sænket antallet af bilister omkring centrum, så vil en udvikling af byen og et øget indbyggertal betyde, at flere bilister igen vil køre gennem centrum, så trafikken igen vil begynde at stige. Derfor har Aalborg Kommune kun løst problemet delvist, for med tanke på en kommende vækst for byen så øges årsdøgntrafikken. Det betyder, at Aalborg Kommune igen vil stå med et problem, hvis ønsket om at opretholde et lavt antal bilister samt at det skal være let at færdes i byen for de bløde trafikanter, skal imødekommes. Nu er det blot ikke muligt at skære ned på antallet af kørespor, og derved skal der findes en ny løsning, med mindre Aalborg Kommune ændrer synspunkt på problemet.

Aalborg Kommune ønsker færre biler omkring centrum, for at gøre det mere attraktivt og lettere for de bløde trafikanter at færdes [Kommune, 21.11.2012] [Schouenborg, 08.09.2014]. Letbanen vil gøre det mere attraktivt at undvære bil i Aalborg, men i takt med fortætningen er spørgsmålet, om det er nok, til at det føles let at færdes i Aalborg. Et andet fokuspunkt er en tredje Limfjordsforbindelse, som der i dag er ønske om [Vejdirektoratet, 2011]. Trafikken i morgen- og eftermiddagstimerne til og fra Aalborg er tæt, og særligt når der opstår et trafikuheld i en af Limfjordsforbindelserne for køretøjer over Limfjorden, så opstår der trafikale problemer omkring den anden forbindelse, og centrum bliver overbelastet. Dette kan en tredje Limfjordsforbindelse afhjælpe, da den af naturlige årsager vil medføre flere biler på vejen, og omvendt vil trafikken også blive mere jævn fordelt, da der kommer en ekstra strækning, som bilisterne kan anvende. Dette kan gavne Aalborg Centrum, både ved den daglige trafik omkring centrum, og ved et eventuelt uheld i Limfjordstunnelen, da det ikke længere kun vil være centrum, der så giver adgang for bilister til at passere over på den anden side af fjorden.

Aalborg Kommune har et ønske om at Aalborg skal være Danmarks bedste studieby [Aalborg, 2014b], og derfor kræves der nok studieboliger til de studerende. Der er i landet en generel mangel på studieboliger, og dette gør sig også gældende for Aalborg, selvom det ikke er i ligeså høj grad som eksempelvis København. Det skyldes Aalborgs store fokus på de studerende og behovet for studieboliger, hvorfra der er blevet bygget over 6.000 studieboliger siden 2010 inden for Vækstaksen, både på Aalborg og Nørresundby siden, og der bygges fortsat flere nye boliger i dag [Øhrstrøm og Washuus, 2014]. Dette er et led i Vækstaksen og planerne om Aalborgs fremtid. De seneste fem år har de videregående uddannelser oplevet rekordmange ansøgninger og dermed flere studerende [Clement og Andersen, 2014], hvilket betyder, at studieboligerne hurtigt bliver lejet ud. Der er fra år

2009 til 2014 kommet ca. 8.000 flere studerende til [Universitet, 2013, s. 9]. Det ønskes at gøre Aalborg til en attraktiv studieby med studievenlige priser på boligerne. Sammenlignes priserne med de tre andre storbyer i Danmark; Aarhus, Odense og København, er boligerne i Aalborg væsentlig billigere [Home, 2014], hvilket kan være en medvirkende faktor til, at Aalborg er attraktiv for de unge.

Aalborg Kommune har også et ønske om, at byen skal være for alle aldersgrupper [Landsforening, 05.05.2014] [Kommune, 25.11.2013b]. Spørgsmålet er, hvad der kan gøres for de indbyggere, som ikke er studerende. Havnefronten, som er en af de bærende elementer i Vækstaksen, anvendes ikke kun af unge, men også af børnefamilier. Derudover byder Aalborg også på naturområder og attraktioner, som er for alle aldersgrupper.

For nye virksomheder gælder det, at der skal være kontorlokaler og bygninger, som kan husse virksomhederne. Ligeledes skal virksomhedens beskæftigelse gerne passe med Aalborg, således at der er en sammenhæng mellem kunde og virksomhed. Med en målsætning om, at være en attraktiv storby med mange muligheder for virksomheder, er der derfor et godt grundlag for at drive virksomhed i Aalborg, også i fremtiden. Indenfor Vækstaksen ligger der utallige virksomheder, men der er stadig tomme erhvervslokaler, som vil give plads til flere virksomheder. Heriblandt skal der ske en udvidelse af Strøybergs Palæ, som har en central beliggenhed i Vækstaksen, helt nede ved havnefronten.

#### 4.3.2 Hvorfor udvide Strøybergs Palæ?

Strøybergs Palæ ligger i Vækstaksen. På Figur 4.2 ses det, at Strøybergs Palæ ligger i et lilla område og er dermed i et område, hvor der er størst mulighed for udvikling inden for Vækstaksen. Grundet havnefrontens udvikling de sidste 10 år, har der været fokus på udviklingen her, og nu har Aalborg Kommune godkendt forespørgslen om en tilbygning til Strøybergs Palæ, hvor der allerede er bygget Musikkens Hus, havnefronten, Utzon Centeret og Utzon Parken omkring området. Udviklingen omkring havnefronten er sket i takt med Vækstaksens fokus herpå. Om havnefronten havde fået en udvikling overhovedet eller i lige så høj grad, hvis tankerne og ideerne omkring Vækstaksen ikke var blevet sat i værk, kan diskuteres. Uden en vækstakse vil der stadig ske en udvikling ved havnefronten, men måske ikke i ligeså høj grad, som nu, hvor Vækstaksen bringer ekstra fokus på området. Dog må det formodes, at havnefronten ikke vil udvikle sig i samme retning i forhold til de kulturmæssige fokuspunkter som Vækstaksen giver.

Det kan ligeledes diskuteres om Vækstaksen overhovedet har haft indflydelse på udvidelsen af Strøybergs Palæ. Placeringen af Strøybergs Palæ midt i Vækstaksen, kan tænkes at have haft indflydelse på beslutningen om, at der skal laves en tilbygning, fordi bygningen skal leve op til Aalborg Kommunes forventninger, og ønsker for fremtiden. Tilbygningen kan bruges til erhvervslokaler, og dette vil kunne tiltrække en eller flere nye virksomheder til området, og dermed være med til at udvikle både området og Aalborg by. Omvendt kan spørgsmålet dog også stilles, om denne tilbygning vil få den ønskede effekt og kunne leve op til disse målsætninger. Det vil være naivt at tro, at en udvidelse på nogle få hundrede kvadratmeter vil gøre en betydnende forskel for Aalborg, og det kan derfor ikke alene være grunden til tilbygningen, men snarere en af flere årsager. Strøybergs Palæ er kun en lille del af Vækstaksen, og skal derfor ikke bære Aalborgs udvikling og vækst alene.

En udvidelse af Strøybergs Palæ vil give ekstra erhvervslokaler og/eller lejligheder, og dette passer godt sammen med Vækstaksen. Tilbygningen betyder desuden, at Strøybergs Palæ vil få et mere harmonisk udseende ud mod vandet, da tilbygningen vil blive bygget i samme arkitektoniske stil som resten af bygningen, og den nordøstlige del af bygningen vil komme op i cirka samme højde, som resten af bygningen. Sammen med resten af havnefronten vil Strøybergs Palæ gennemgå en renovering, som løfter udseendet.

Det, at området bliver et centralt fokuspunkt for fremtiden betyder også, at området bliver mere attraktivt, idet der kommer til at ske en fortsat udvikling af området, og netop derfor kan en tilbygning være en god investering, da det giver ekstra plads og bedre forudsætninger for udviklingen.

# Udvikling af området 5

---

I det følgende afsnit vil lokalplanen for området ved Strøybergs Palæ beskrives, da denne sammen med kommuneplanen indeholder en række bestemmelser for Strøybergs Palæ, og fastsætter rammerne for den kommende tilbygning.

Til sidst vil der foretages en sammenligning mellem den førhen gældende lokalplan for området og den nuværende lokalplan, for at undersøge, hvilke ændringer der har været nødvendige at foretage, for at kunne realisere tilbygningen til Strøybergs Palæ.

## 5.1 Lokalplan

En lokalplan tager udgangspunkt i en fremsat kommuneplan, og har til formål at styre udviklingen i et område. Lokalplanen skal give borgerne og byrådet et indblik i et bestemt område og give dem mulighed for at komme med tiltag til den fremlagte plan. Her fastsætter byrådet rammerne for, hvordan arealer, bygninger, beplantning, veje, stier m.m. skal anlægges i et givent område. Lokalplaner skal ifølge planloven udformes af byrådet, der har pligt til dette, før der kan gennemføres større bygge- og anlægsprojekter [Kommune, Oktober 2012, s. 4].

En lokalplan indeholder; redegørelse, planbestemmelser og bilag [Kommune, Oktober 2012, s. 4].

Planen starter med en redegørelse, hvor lokalplanens baggrund og formål fastsættes og hele indholdet fremlægges. Der bliver også redegjort for miljømæssige forhold, hvordan lokalplanen forholder sig til andet byggeri, og om der kræves tilladelser eller anden slags dispensationer fra forskellige myndigheder.

I lokalplanen informeres der om planbestemmelser, som er områdets fremtidige anvendelse. Dette illustreres via tekst og billeder.

Til sidst i lokalplanen ligger alle bilagene. Disse består oftest af forskellige kort (matrikelkort, arealanvendelseskort m.m.) samt forskellige tabeller omkring støj fra erhverv og trafik m.m. Bilagene er med til at uddybe og illustrere lokalplanbestemmelserne.

Byrådet kan til enhver tid udarbejde et lokalplanforslag. Når et forslag til lokalplanen er udformet, skal det offentliggøres i mindst otte uger, hvor borgerne kan komme med indsigelser eller forslag til ændringer. Efter de otte ugers offentliggørelse bedømmes byrådet, hvorvidt eventuelle indsigelser eller ændringer vil blive taget op. Dernæst vedtages planen, hvor den bekendtgøres i avisens og er hermed bindende for ejendommene, som ligger i lokalplanområdet.

Der må ikke laves ændringer i området i strid med lokalplanen, dog må eksisterende bygninger og anvendelse, der er etableret før lokalplanforslagets offentliggørelse, fortsætte

[Kommune, Oktober 2012, s. 4].

## 5.2 Lokalplan 1-1-107

Lokalplan 1-1-107 er lokalplanen for området ved Strøybergs Palæ. Lokalplanen er vedtaget af Aalborg Byråd den 12. november 2012, og offentligt bekendtgjort den 21. november 2012 [Kommune, Oktober 2012, s. 20].

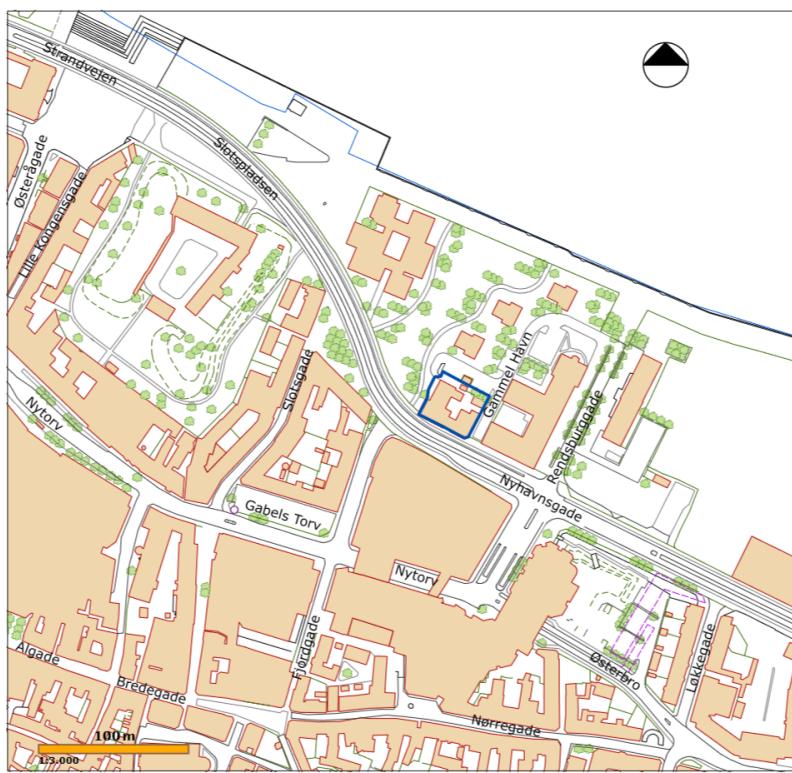
Området for lokalplanen er ca. 1.200 m<sup>2</sup>, og ligger ca. 100 m fra Limfjorden. Øst for lokalplanområdet ligger Gammel Havn, mod nord og vest ligger Utzon Parken og mod syd Nyhavnsgade. Ud over Strøybergs Palæ, der ligger i planområdet, er der også enkelte mindre bygninger, garager m.m. For at lokalplanen kan blive realiseret, skal mindre bygninger nedrives, hvis de ikke er bevaringsværdige [Kommune, Oktober 2012, s. 6]. Området, som lokalplanen dækker, ses på Figur 5.1.

Lokalplanen er udarbejdet med et ønske om, at lave en tilbygning til Strøybergs Palæ, hvor anvendelsesmulighederne i området vil være beboelse, serviceerhverv og kontorerhverv. Lokalplanen er udformet således, at den tager hensyn til, at den nye bebyggelse udformes efter den eksisterende bevaringsværdige bygning, eventuelt med et nutidigt arkitektonisk udtryk. Her tages der hensyn til bygningsskala, facadertyme og farve, da Strøybergs Palæ er vurderet til at være en bevaringsværdig bygning med en bevaringsværdi 4, som er middelværdi [Kommune, Oktober 2012, s. 5 og 9]. Bevaringsværdien bestemmes på baggrund af fem værdier; arkitektonisk værdi, kulturhistorisk værdi, miljømæssig værdi, originalitet og tilstand, hvor vurderingen er givet i forhold til helhedsindtrykket af bygningens kvalitet og tilstand, dog vil den arkitektoniske- og den kulturhistoriske værdi veje tungest for bevaringsværdien. Bygninger med bevaringsværdi 2-4 er bygninger, som er fremtrædende grundet deres arkitektur, kulturhistorie og håndværksmæssige udførelse [Kulturstyrelsen, a]. Lokalplanen fortæller desuden, at tage skal udføres som sadeltage eller som flade tage [Kommune, Oktober 2012, s. 17].

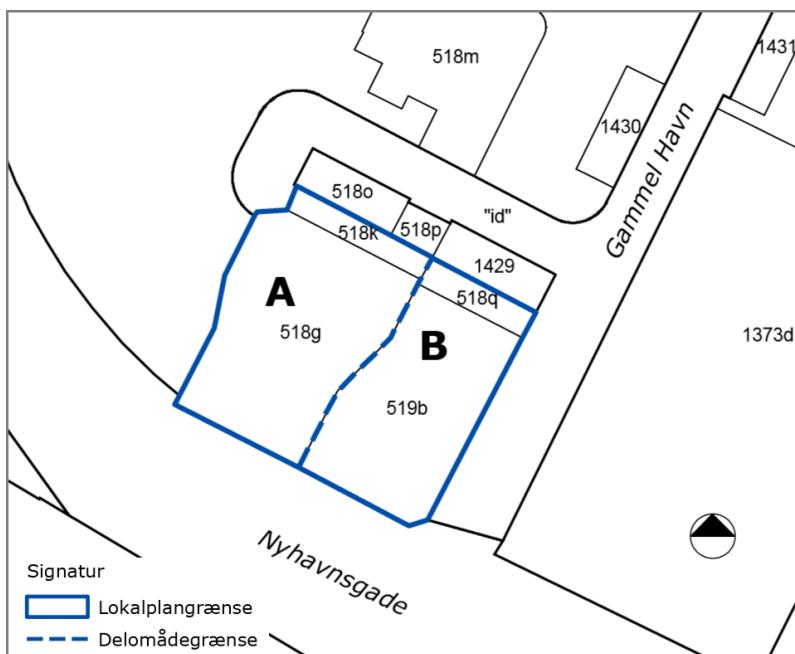
Lokalplanen indeholder to delområder, hvor delområdet B er hovedbygningen af Strøybergs Palæ, mens delområde A er sidebygningen dertil og et byggefelt liggende mod nord, hvilket er illustreret på Figur 5.2. Inden for delområde A må ny bebyggelse opføres i 4 etager, samt en tagetage, og med en kælder maksimalt 1,25 m over terræn, som kan anvendes til parkering, depot og lignende. Inden for delområde B må ny bebyggelse opføres i 3 etager samt en tagetage og med en kælder maksimalt 2 m over terræn. I alt må tilbygningen højst være 19 m høj [Kommune, Oktober 2012, s. 7 og 16].

Da lokalplanområdet ligger meget kystnært skal der i større grad dimensioneres efter klimatiske faktorer og ændringer. Her er hovedpunktet vandstandsstigning. Her tages der udgangspunkt i Aalborg Kommunes klimastrategi. Den forudsiger, at den generelle indre vandstand i nordjyske farvande vil kunne stige med op til 1 m. Derfor er der fastsat en minimum sokkelkote for stueplan på nye bygninger på 2,36 m DVR 90 grundet risikoen for vandstandsstigning [Kommune, Oktober 2012, s. 9].

Bygningen ligger placeret tæt op ad detailhandel og erhverv. Området benyttes af kollektiv trafik. Da bygningen ligger placeret ved Nyhavnsgade, kan dette give støjgener fra trafikken. Derfor skal der tages højde for dette, når der bygges. Det indendørs støjniveau må ikke overstige  $L_{den}$  33 dB, og ved udendørs opholdsarealer må den ikke overstige  $L_{den}$  58 dB. Støjisolering skal primært ske indvendigt, så bygningen ikke ændrer udseende. Over-



**Figur 5.1.** Lokalplan 1-1-107, lokalplandområde [Kommune, Oktober 2012, s. 40]



**Figur 5.2.** Lokalplan 1-1-107, delområde A og B [Kommune, Oktober 2012, bilag 1, s. 33]

holdelse af de forskellige grænseværdier for støj skal kunne dokumenteres, før bygningen må tages i brug [Kommune, Oktober 2012, s. 8]. Området er kortlagt på vidensniveau 1 og 2 efter jordforureningsloven. Et areal bliver kortlagt på vidensniveau 1, hvis der er kendskab til aktiviteter, der kan forårsage forurening på arealet. Det vil blive kortlagt på vidensniveau 2, hvis der er dokumentation for forurening i jord og grundvand på arealet [Miljøministeriet, b]. Hvis der i forbindelse med bygge- og anlægsarbejde konstateres tegn på jordforurening, skal arbejdet standses og kommunens Teknik- og Miljøforvaltning skal underrettes. Herefter vurderes det, om der skal fastsættes vilkår, inden arbejdet kan genoptages [Kommune, Oktober 2012, s. 10].

Lokalplanen skal udarbejdes i samspil med den nuværende kommuneplan og anden fysisk planlægning i området omkring. Planen er, at der i lokalplanens område kan indrettes et mindre antal boliger. I bygningen kan desuden etableres butikker på maksimalt 250 m<sup>2</sup> og 500 m<sup>2</sup> pr. etage jf. kommuneplanen [Kommune, Oktober 2012, s. 8].

### 5.2.1 Fra gammel til ny lokalplan

I kraft med vedtagelsen af lokalplan 1-1-107 ophæves lokalplanen 10-082 for det område, som lokalplan 1-1-107 omfatter. På trods af, at de to lokalplaner omfatter to forskellige områdestørrelser, så er lokalplanerne fortsat ens på flere punkter, heriblandt miljøforholdene for området. Der er dog nogle små forskelle, og disse forskelle vil blive analyseret i det følgende afsnit. Nedenfor på Figur 5.3 ses lokalplanområdet for lokalplan 10-082.



**Figur 5.3.** Tidligere gældende lokalplan, 10-082, for området [Kommune, August 2006, s. 17]

I lokalplan 10-082 kan ny bebyggelse for området Strøybergs Palæ bygges i 4 etager samt tagetage med en maksimal højde på 22 m [Kommune, August 2006, s. 19], hvor der i lokalplan 1-1-107 kan bygges i op til 3 etager samt tagetage for ny bebyggelse med en maksimal højde på 19 m. Denne ændring i højden kan skyldes, at der har været indsigelser imod de 22 m, da dette muligvis ville fjerne en udsigt eller sollys for de berørte personer.

Der er i lokalplan 1-1-107 ligeledes taget højde for vandstandsstigning i Limfjorden,

hvilket ikke er gjort i lokalplan 10-082. Grunden til dette kan skyldes, at der ikke tages højde for detaljerne, da lokalplan 10-082 foruden Strøybergs Palæ indeholder tiltag til Utzon Centeret, Slotspladsen og First Slotshotel.

Ligeledes bliver der præciseret i lokalplan 1-1-107, at isolering for trafikstøj ikke må ændre på facadens udseende, hvor der i lokalplan 10-082 blot står, at enhver ændring på bygningens facade kræver en tilladelse [Kommune, August 2006, s. 19]. En grund til at der først i lokalplan 1-1-107 står beskrevet, hvordan isoleringen skal foretages samt at facadeændringer kræver en tilladelse, kan være, at lokalplan 10-082 dækker over et større område end 1-1-107, og at detaljerne på tilbygningen dermed først er relevant for lokalplan 1-1-107.

For ny bebyggelse og nye tilbygninger, som er omfattet af lokalplan 1-1-107, gælder det, at nye bygninger skal opføres i overensstemmelse med den eksisterende bebyggelse, dog gerne med nutidig arkitektonisk formsprog. Tilbygninger skal opføres i tilknytning til den eksisterende bevaringsværdige bygning, og skal derfor have det samme arkitektoniske udtryk, som bygningen i forvejen har [Kommune, Oktober 2012, s. 7].

Dette punkt i lokalplanen forklarer de overordnede rammer for ny bebyggelse og tilbygning, men udover dette, er det mere frit for det pågældende rådgivningsfirma, at designe og konstruere de pågældende bygninger. De skal blot overholde lokalplanens givne rammer, hvorefter det kan diskuteres og fortolkes, hvor og hvornår grænsen for det arkitektoniske udtryk overskrides. Denne balance er derfor mest op til det rådgivende ingeniørselskab at fortolke.

### 5.3 Delkonklusion

Aalborg Kommune er vokset som by gennem tiden, og gennem den nuværende kommuneplan har kommunen en målsætning om, at være Nordjyllands Vækstdynamo og være en by med fokus på udvikling af studerende, erhverv, kultur med mere.

Blandt Aalborg Kommunes fem fokuspunkter er det fokuspunktet “Aalborg - den attraktive storby”, omhandlende Vækstaksen, der er blevet behandlet. Vækstaksen beskriver et område i Aalborg, hvor der er planer om fremtidig udvikling. Disse områder består i dag af virksomheder, uddannelsesinstitutioner, kulturattraktioner og andre interessepunkter for Aalborg Kommune. Det er netop disse områder, der skal skabe grobund for den fremtidige vækst i Aalborg, og derfor er det fordelagtigt at udvikle yderligere i netop disse områder.

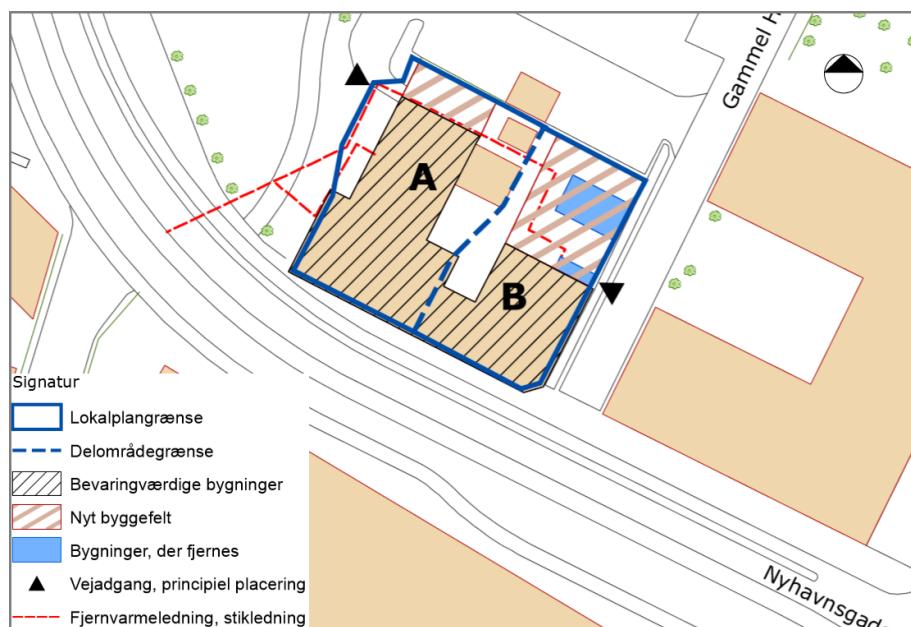
Strøyberg Palæs beliggenhed inden for Vækstaksen i et af de områder, hvor der er størst mulighed for udvikling, giver et godt grundlag for en tilbygning. Derudover har de seneste 10 års udvikling af Aalborg Havnefront, givet øget fokus på udviklingen i netop dette område, hvilket gør området mere attraktivt. Tilbygningen kan blandt andet bruges til erhvervslokaler, som kan tiltrække nye virksomheder til områder, og dermed være med til at udvikle byen. Dog vil en mindre udvidelse af Strøybergs Palæ ikke have en stor betydning for Aalborg og dens udvikling, da bygningen kun er en lille del af Vækstaksen.



# Dimensionering af stålprofiler

# 6

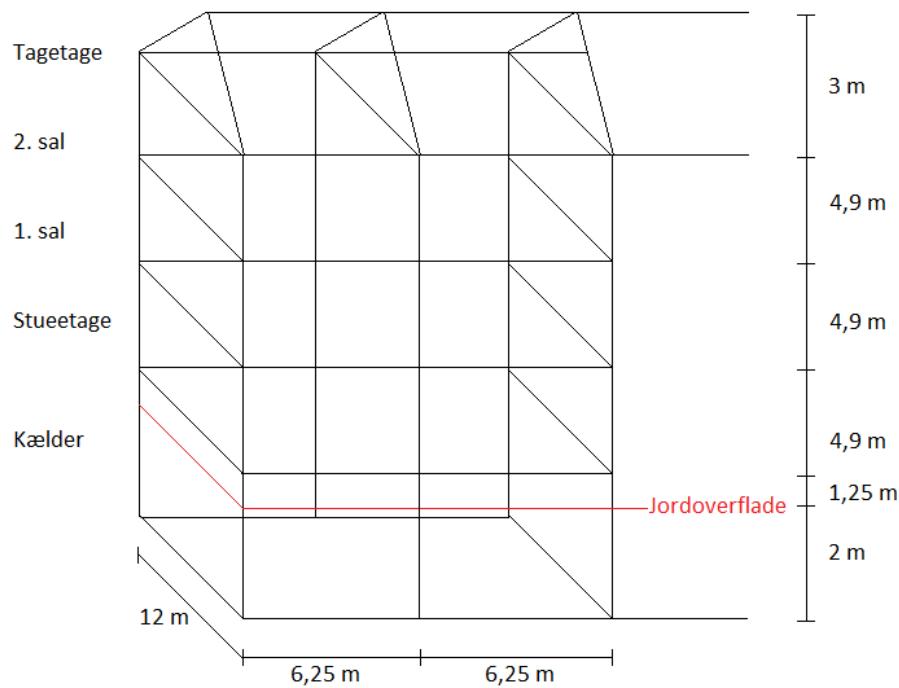
Figur 6.1 viser de nye byggefelter inden for henholdsvis delområde A og delområde B til Strøybergs Palæ ([Kommune, Oktober 2012], s. 16). Denne rapport fokuserer på byggefeltet inden for delområde B, hvor ny bebyggelse, ifølge lokalplan 1-1-107, må opføres i 3 etager samt en tagetage og med en kælder maksimalt 2 m over terræn. Ved opførsel af ny bebyggelse i delområde B, skal to nuværende mindre bygninger fjernes.



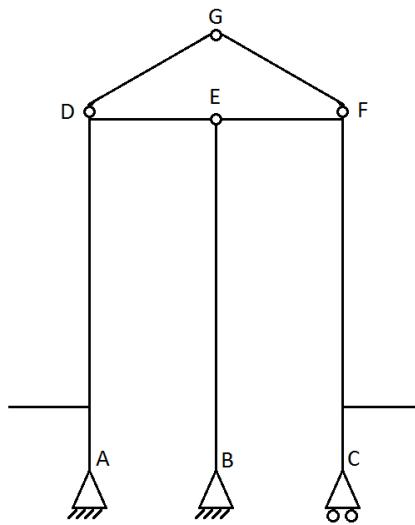
**Figur 6.1.** Lokalplan 1-1-107, delområde A og B [Kommune, Oktober 2012, bilag 2, s. 35]

Med udgangspunkt i lokalplan 1-1-107 har bygningen fået de størrelser og dimensioner, som ses på Figur 6.2, som videre beregninger tager udgangspunkt i.

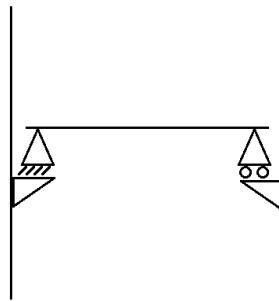
Tilbygningen sættes til at være 12,5 m lang og 12 m bred i henhold til den eksisterende bygningsbredde. Kælderen har en højde på i alt 3,25 m, hvor 1,25 m ligger over terræn. Stueetagen, 1. sal og 2. sal har hver især en højde på 4,9 m og tagetagen har en højde på 3 meter med en hældning på  $26,57^\circ$ . I alt er tilbygningen 19 m høj over terræn.

**Figur 6.2.** Tilbygningens dimensioner

For at kunne beregne de laster som påvirker tilbygningen, er der opstillet et statisk system som ses på Figur 6.3. Systemet er opstillet som en bjælkekonstruktion. Som det ses på Figur 6.2 er der tre stålrammer; en i midten og en i hver af gavlene. I videre beregninger foretages der beregninger for rammen i midten.

**Figur 6.3.** Statisk system

Etagedækene vil virke som en belastning og ses ikke som en del af konstruktionen. Dette er muligt, da der opsættes en samling mellem etagedækene og stålkonstruktion, som ses på Figur 6.4.



**Figur 6.4.** Etageovergang på tilbygningen

Ståltypen for det statiske system sættes til at være ståltype S235 med I-profilnummer 450 [Jensen, 2013]. Mål for profilet ses på Figur 7.9.

## 6.1 Laster

Tilbygningen til Strøybergs Palæ vil blive utsat for en række laster, både permanente og variable laster. Disse vil blive beregnet i dette afsnit, så der kan opstilles lastkombinationer samt beregnes brudgrænse- og anvendelsesgrænsetilstande.

### 6.1.1 Permanente laster

De permanente laster, der beregnes er egenlast og jordlast.

#### 6.1.1.1 Egenlast

For at bestemme den egenlast, der virker på det statiske system, beregnes først en samlet egenlast for taget, dernæst bestemmes egenlasten for gulve og vægge, hvorudfra den samlede egenlast for etagerne kan bestemmes. Til sidst bestemmes egenlasten for stålsystemet ekslusivt tag. Den egenlast, der virker under taget opdeles altså i egenlast fra stålsystem og egenlast fra etagedæk, idet egenlasten fra etagedækkene giver anledning til moment, grundet samlingen mellem etagedækkene og stålkonstruktionen, som ses på Figur 6.4.

Lasterne deles ud på de tre rammer, hvor den midterste optager halvdelen af lasterne. De bestemte laster laves til sidst om til linjelaster, som sættes på bjælkesystemet.

#### Last fra tag

Det antages, at taget er et mellemagtigt sadeltag med teglsten, som har egenvægten  $600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  [Spærfabrik, 01-07-2013].

Tagets areal bestemmes ud fra Figur 6.5:

$$A_{tag} = 6,71 \text{ m} \cdot 12,50 \text{ m} \cdot 2 = 167,71 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

Arealet multipliceres med egenvægten for mellemagtigt tag, for at finde lasten for hele taget på tilbygningen:

$$p_{tag} = 167,71 \text{ m}^2 \cdot 600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 100,62 \text{ kN} \quad (6.2)$$

Denne last vil blive fordelt ud på de tre rammer (se Figur 6.2), hvor den midterste ramme vil optage halvdelen af lasten, som herefter omregnes til en linjelast:

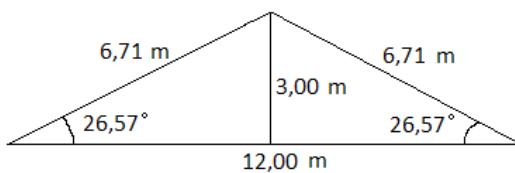
$$\frac{\frac{100,62 \text{kN}}{2}}{6,71 \text{m} \cdot 2} = 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.3)$$

Denne værdi skal lægges sammen med egenlasten for stålsystemet i tagkonstruktionen, for at bestemme den samlede egenlast for taget.

Egenlasten for stålet regnes ud fra densiteten for det anvendte profilnummer 450. Her er densiteten  $115 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  [Jensen, 2013]. Denne multipliceres med tyngdeaccelerationen, for at få en linjelast:

$$115 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.4)$$

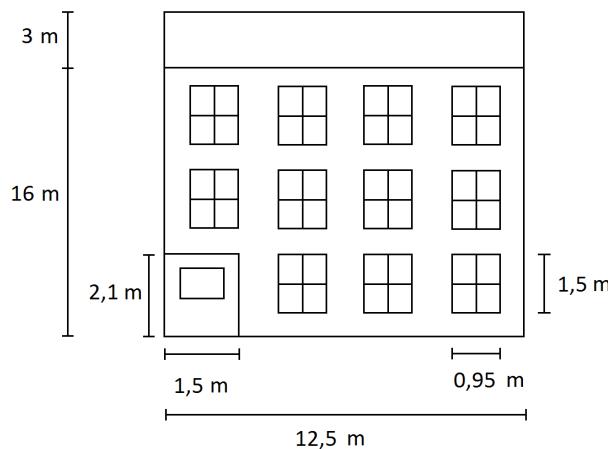
Denne linjelast kan nu adderes til tagets egenlast, og den samlede egenlast for taget er bestemt til  $4,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ .



**Figur 6.5.** Dimensioner for tagetagen

### Last fra vægge

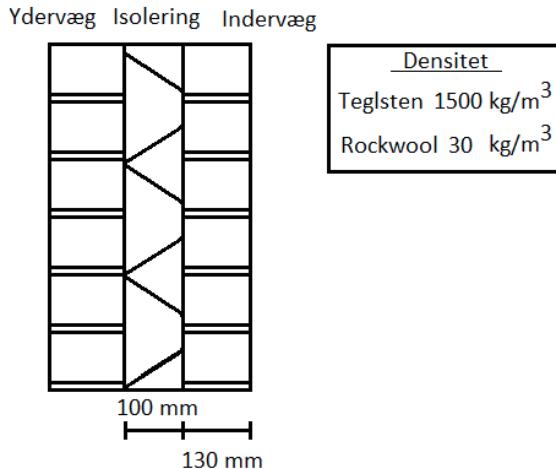
Egenlasten for etagerne udregnes nu, ved først at regne egenlasten for væggene. Tilbygningens to facader antages at være ens, og hver især bestå af 11 vinduer og én dør [Kommune, August 2006], hvilket illustreres på Figur 6.6.



**Figur 6.6.** Facaden på øst- og vestsiden

Til beregning af væggens egenlast skal der påregnes en indervæg og et isoleringslag. Ydervæggen bærer sig selv og er derfor ikke en del af det statiske system og skal derfor

ikke medregnes. Indervæggen bestemmes at være mursten, og isoleringen bestemmes at være rockwool. Tykkelsen og densiteten for mursten og rockwool kan ses på Figur 6.7.

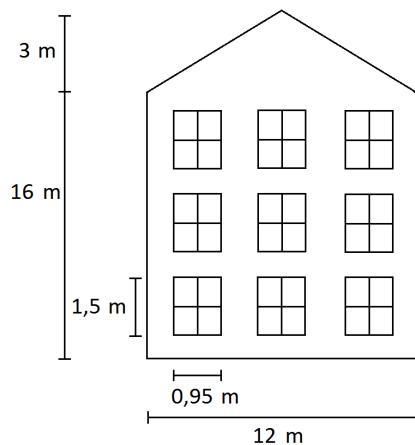


**Figur 6.7.** Opbygning af væg

Der medregnes kun egenlast for én gavl, idet den anden gavl ligger op ad den nuværende bygning, og den belaster dermed ikke det statiske system.

De 9 vinduer på gavlen har identiske mål med dem på facaden, som kan ses på Figur 6.8. Indervæg og isolering for gavlen er ligeledes identisk med facadens.

Når arealet af facaderne beregnes trækkes arealet af vinduerne samt døren fra, da disse antages at belaste ydermuren.



**Figur 6.8.** Mål og dimensioner for gavl og tilbygningen

Arealerne og lasten for facaderne og gavlen kan ses i Tabel 6.1, hvor lasten bestemmes ud fra formlen:

$$p = gA \sum dt \quad (6.5)$$

-  $g$ : Tyngdeacceleration på  $9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

-  $A$ : Areal

-  $d$ : Densitet af materiale

-  $t$ : Tykkelse af materiale

Retning	Areal $A [m^2]$	Last $p [kN]$
Facade, vest	181,18	352,27
Facade, øst	181,18	352,27
Gavl, nord	197,18	383,38

**Tabel 6.1.** Areal og last for væg

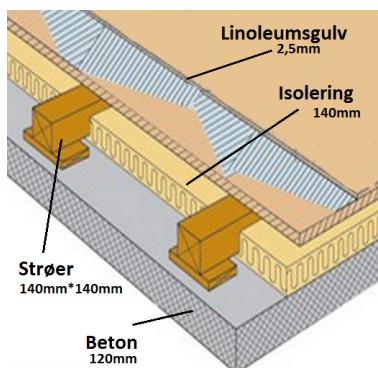
### Last fra gulv

Det antages at bygningens etager kun består af gulv, dvs. ingen skillevægge, trapper m.m. Derfor er det samlede areal af gulvet pr. etage:

$$A_{etage} = 12,50 \text{ m} \cdot 12,00 \text{ m} = 150,00 \text{ m}^2 \quad (6.6)$$

Fire ud af tilbygningens fem etager består af bærende gule. Kælderetagen ligger på fundamentet, og bliver dermed ikke båret af rammen. Derfor medregnes kælderetagens gulv ikke i egenlasten.

Opbygningen af det bærende gulv er illustreret på Figur 6.9. Det bærende gulv består af et armeret betondæk nederst, der oftest er mellem 80 mm og 200 mm tyk. Det bestemmes, at den er 120 mm tyk, hvorpå der ligger strøer. Strøernes opgave er at løfte gulvet, således der er plads til isoleringslaget [Brandt]. Densiteten og tykkelsen af gulvlagene kan ses i Tabel 6.2.



**Figur 6.9.** Opbygning af bærende gulv [Gulvfakta] [Byggeri]

Der er behov for strøer, som hver er 6,25 m lange. Disse anlægges langs med tilbygningen, og antallet af strøer bestemmes ved at dividere med 400 mm, da der anbefales at være 400 mm imellem hver strø [Brandt].

$$\frac{2 \cdot 6,25 \text{ m}}{0,40 \text{ m}} = 31,25 \text{ strøer} \quad (6.7)$$

Dette afrundes til 32 strøer.

Nu bestemmes egenlasten for strøerne ved at multiplicere 32 strøer med deres rumfang samt densitet, for tørrumvægt af træ 510 [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ] [Træteknik], tyngdeaccelerationen og fire etager:

$$p_{\text{strøer}} = 7,84 \text{ m}^3 \cdot 510 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 = 157,06 \text{ kN} \quad (6.8)$$

Udregningen af volumen og egenlast for beton, rockwool og linoleum sker på samme måde som for strøerne, dog skal strøernes volumen trækkes fra ved beregning af værdierne for rockwool. Resultaterne kan ses i Tabel 6.2.

Materiale	Densitet $d$ [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]	Volumen $V$ [ $\text{m}^3$ ]	Last $p$ [ $\text{kN}$ ]
Strøer	-	7,84	157,06
Beton	2400	72,00	1693,44
Rockwool	30	52,64	15,51
Linoleum	2,9	1,50	0,04

**Tabel 6.2.** Materialer og deres egenskaber for gulv

### Samlet egenlast for etagedæk

Lasterne fra henholdsvis Tabel 6.1 og Tabel 6.2 adderes, og der fås en samlet egenlast for tilbygningen på 2953,90 kN.

Denne deles med 2, da midterrammen i tilbygningen optager halvdelen af den samlede egenlast, og der fås 1476,95 kN.

Den midterste bjælke i det statiske system optager halvdelen af egenlasten, mens de to yderste bjælker hver optager en fjerdedel:

$$\frac{1476,95 \text{ kN}}{4} = 369,24 \text{ kN} \quad (6.9)$$

Punktlasten for egenlasten omregnes nu til en linjelast, ved at dele med højden 18 m:

$$\frac{369,24 \text{ kN}}{18 \text{ m}} = 20,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.10)$$

Egenlasten fra etagedækkene, der påvirker bjælkerne, er dermed  $20,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  for de to yderste bjælker og  $41,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  for den midterste bjælke.

### Egenlast af stålsystemet

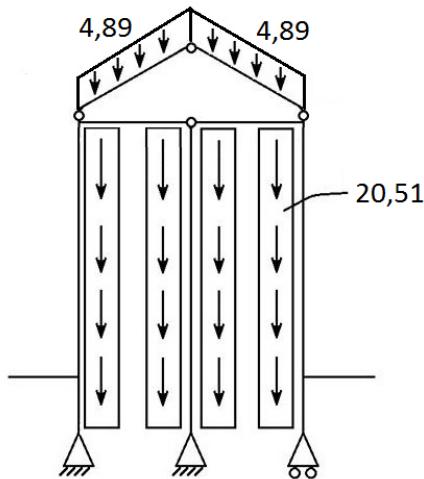
Der beregnes en egenlast for stålsystemet ekslusivt tag.

For at finde linjelasten af en stålbjælke multipliceres profilets densitet 115,00  $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$  med tyngdeaccelerationen:

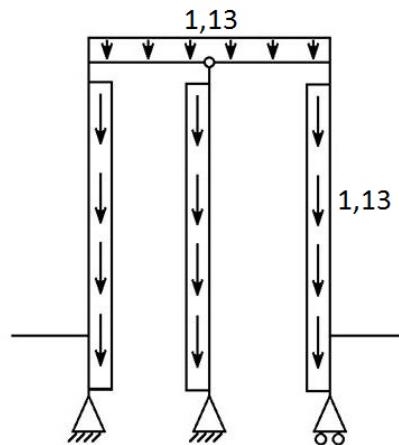
$$115,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,13 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.11)$$

### Opsamling

De karakteristiske egenlaster fra henholdsvis taget, etagedækkene samt stålsystemet er nu bestemt. Disse placeres nu i det statiske system vist på Figur 6.10 og 6.11.



**Figur 6.10.** Egenlast fra etagedæk angivet i  $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$



**Figur 6.11.** Egenlast fra stålsystemet angivet i  $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$

### 6.1.1.2 Jordlast

Idet tilbygningen har en kælder, der går 2 m under jorden, bliver den påvirket med en jordlast. Jordlasten virker på konstruktionen fra jordoverfladen og nedefter og virker liniært afhængigt af dybden.

Jordlasten beregnes gennem formlen:

$$\sigma_x = k_0 \sigma_z \quad (6.12)$$

- $k_0$ : Hviletrykskoefficienten, som er givet ved  $k_0 = 1 - \sin(\varphi)$ , hvor  $\varphi$  er friktionsvinklen. Friktionsvinklen er bestemt igennem fire laboratorieforsøg, som ses under afsnit 10.2.5.
- $\sigma_z$ : Den lodrette fladelast i dybden  $z$  givet ved  $\sigma_z = z\gamma$ , hvor  $z$  er dybden og  $\gamma$  er rumvægten  $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Hviletrykskoefficienten,  $k_0$  bestemmes:

$$k_0 = 1 - \sin(32,33) = 0,47 \quad (6.13)$$

Rumvægten slås op til  $20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  [Jensen, 2013, s. 386] og den lodrette hviletryksspænding,  $\sigma_z$ , bestemmes:

$$\sigma_z = z \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad (6.14)$$

Nu er hviletrykskoefficienten og fladelasten bestemt, og det betyder, at jordlasten  $\sigma_x$ , i dybderne  $z$  for 0 m og 2 m bestemmes:

$$\sigma_x = 0,47 \cdot 0 \text{ m} \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (6.15)$$

$$\sigma_x = 0,47 \cdot 2 \text{ m} \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 18,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (6.16)$$

I og med jordlasten ved 0 m er  $0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ , vil den også optræde som en linjelast med værdien  $0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ . Dermed beregnes linjelasten for dybden 2 m, ved at multiplicere med længden, som den virker over, hvilken er 6,25 m:

$$q_{x,linje} = 18,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6,25 \text{ m} = 116,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.17)$$

Jordlasten virker derfor som en lineær funktion, og der opstilles nu et generelt udtryk for funktionen  $j(z)$ :

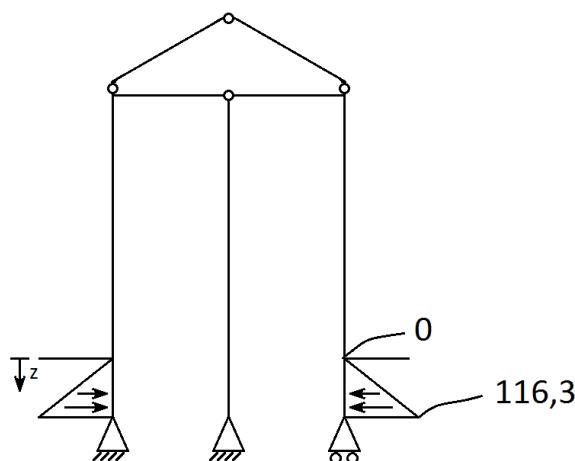
$$j(z) = az + b \quad (6.18)$$

- $a$ : Hældning, som er givet ved  $\frac{116,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2\text{m}} = 58,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- $z$ : Koordinatet til jordlasten
- $b$ : Lasten i  $z = 0 \text{ m}$

Linjelasten for jordlasten er derfor givet ved:

$$j(z) = 58,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot z \quad (6.19)$$

Jordlasten, der virker på det statiske system, er illustreret på Figur 6.12.



**Figur 6.12.** Jordlast på det statiske system angivet i  $[\frac{\text{kN}}{\text{m}}]$

### 6.1.2 Variable laster

Af variable laster optræder snelast, vindlast og nyttelast på bygningen. Disse udregnes efter Eurocode 1991.

#### 6.1.2.1 Snelast

Til at beregne den karakteristiske snelast anvendes følgende formel:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (6.20)$$

- $\mu_i$ : Formfaktoren for snelasten, som sættes til 0,8 [DS/EN-1991, 2014, tabel 5.2 kapitel 5.3]

- $C_e$ : Eksponeringsfaktoren
- $C_t$ : Termisk faktor, som sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 5.2]
- $s_k$ : Karakteristisk terrænværdi, som sættes til  $1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  [DS/EN-1991, 2014, kapitel 4.1]

Eksponeringsfaktoren,  $C_e$ , bestemmes ved:

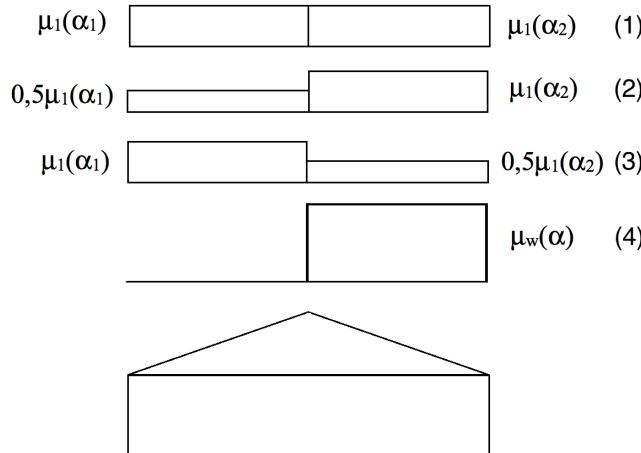
$$C_e = C_{top}C_s \quad (6.21)$$

- $C_{top}$ : Topografifaktor, som sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, tabel 5.1 kapitel 5.2]
- $C_s$ : Størrelsesfaktor, som sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 5.2]

Eksponeringsfaktoren er altså:

$$C_e = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \quad (6.22)$$

Strøybergs Palæ har et sadeltag, og dermed skal der tages højde for fire lasttilfælde, som ses på Figur 6.13. Derudover multipliceres snetilfældets værdi med 6,25 m, for at omregne til linjelast.



**Figur 6.13.** Fordeling af sne i de fire tilfælde [DS/EN-1991, 2014, kapitel 5.3.3]

#### Snetilfælde 1

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6,25 \text{ m} = 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.23)$$

#### Snetilfælde 2 og 3

$$s_2 = s_3 = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6,25 \text{ m} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.24)$$

#### Snetilfælde 4

Snetilfælde 4 er ophobning, og dermed anvendes en anden formfaktor.

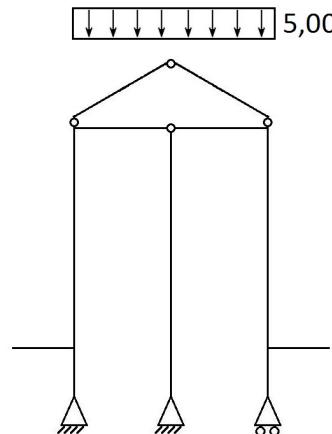
$$s_4 = \mu_w C_e C_t s_k \quad (6.25)$$

- $\mu_w$ : Formfaktoren, som sættes til 1,2 eftersom  $\alpha$  er  $26,57^\circ$  [DS/EN-1991, 2014, kapitel 5.3.3]

Den karakteristiske snelast for lasttilfælde 4 kan nu bestemmes til:

$$s_4 = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 6,25 \text{ m} = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.26)$$

Til videre beregning har projektgruppen valgt at anvende snetilfælde 1, som er illustreret på Figur 6.13. I praksis burde der laves beregninger med samtlige snetilfælde.



**Figur 6.14.** Snelast på det statiske system angivet i  $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$

### 6.1.2.2 Vindlast

For vindlasten regnes der en nettovindlast, hvilken regnes som summen af den udvendige og den indvendige vindlast.

For Strøybergs Palæ regnes der en nettovindlast for taget og for facaderne på bygningen, hvilket gøres for tre vindretninger, nord, øst og vest, da sydsiden af tilbygningen kommer i forlængelse af den allerede eksisterende bygning, og derfor formodes denne vindlast ikke at have en særlig betydning for tilbygningen.

Til at bestemme vindlasten på tilbygningens udvendige sider anvendes følgende formel:

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe} \quad (6.27)$$

- $q_p$ : Peakhastighedstrykket
- $z_e$ : Referencehøjden for det udvendige vindtryk, som er 19 m for taget og 16 m for facaderne
- $c_{pe}$ : Formfaktoren for det udvendige vindtryk

Til at bestemme vindlasten på tilbygningens indvendige sider anvendes følgende formel:

$$w_i = q_p(z_i)c_{pi} \quad (6.28)$$

- $q_p$ : Peakhastighedstrykket
- $z_i$ : Referencehøjden for det indvendige vindtryk, som sættes lig det udvendige for hhv. tag og facader  $z_e$  [DS/EN-1991, 2014, kapitel 7.2.9]
- $c_{pi}$ : Formfaktoren for det indvendige vindtryk

I Bilag A ses et beregningseksempel på bestemmelse af peakhastighedstrykket,  $q_p$ , og i Tabel 6.3 ses værdierne for peakhastighedstrykket for alle tre vindretninger ved højderne 16 m og 19 m.

Vindretning/Højden	$q_p \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$ ved 16 m	$q_p \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$ ved 19 m
Vest	0,54	0,58
Øst	0,43	0,46
Nord	0,43	0,46

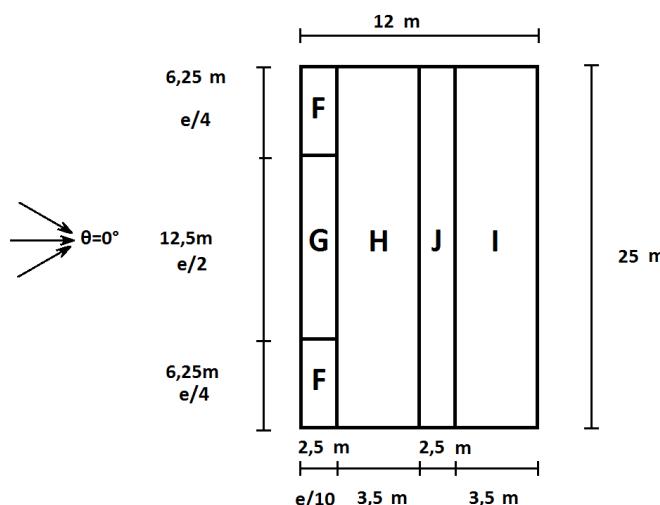
**Tabel 6.3.** Værdier for  $q_p$

Peakhastighedstrykket skal nu anvendes, for at bestemme vindlasten på taget fra de tre vindretninger.

### Vindtryk på tag

Først bestemmes de karakteristiske vindlaster ved at opstille en række vindtilfælde for henholdsvis tryk og sug. Tryk regnes altid positivt, og sug regnes altid negativt.

Da tilbygningen til Strøybergs Palæ får et sadeltag, anbefales det at dele taget ind i zoner efter Eurocode 1991. Bygningen tegnes i fuld størrelse, hvor længden  $e$  er 25 m, og derfor er den nuværende bygning også medregnet i målene. For vindretningen  $\theta = 0^\circ$  (gælder for vindretning fra vest og fra øst) skal bygningen deles ind som vist på Figur 6.15.



**Figur 6.15.** Opdeling af bygning, for vindretning fra øst og vest [DS/EN-1991, 2014, kapitel 7.2.5]

Formfaktorerne,  $c_{pe}$ , for tagets zoner bestemmes ud fra Eurocode 1991. Her anvendes taghældningen på  $\alpha = 26,57^\circ$ , og der laves derfor lineær regression mellem  $c_{pe}$  værdierne for vinklerne  $15^\circ$  og  $30^\circ$ , efter anbefaling af Eurocode 1991 [DS/EN-1991, 2014, tabel 7.4a kapitel 7.2.5]. For  $\theta = 0^\circ$  skifter trykket hurtigt mellem positive og negative værdier i vindsiden, ved en taghældning mellem  $\alpha = -5^\circ$  til  $+45^\circ$ , og derfor skal der regnes for både positive og negative formfaktorværdier.

Nedenfor er et beregningseksempel af formfaktoren.

### Zone F for vind fra vest

Ud fra Eurocode 1991 [DS/EN-1991, 2014, tabel 7.4a kapitel 7.2.5] findes de negative værdier for zone F ved  $15^\circ$  og  $30^\circ$ . Her ud fra laves lineær regression, og  $c_{pe,10,neg}$  bestemmes:

$$c_{pe,10,neg} = -0,59 \quad (6.29)$$

Ligeledes gøres for de positive værdier for zone F ved  $15^\circ$  og  $30^\circ$ , og  $c_{pe,10,pos}$  bestemmes:

$$c_{pe,10,pos} = 0,59 \quad (6.30)$$

De beregnede værdier for formfaktorerne ses i Tabellerne 6.4 og 6.5.

De udvendige vindtryk beregnes ved formel 6.28. Værdierne findes alle i Bilag F punkt 1.

De indvendige vindtryk skal nu bestemmes, da de virker på samme tid som de udvendige vindtryk.

Der findes to måder til bestemmelse af formfaktoren,  $c_{pi}$ , for indvendig vind. I dette projekt anvendes den forsimplede metode, hvor  $c_{pi}$  regnes til at være den mindst gunstige af + 0,2 og - 0,3 [DS/EN-1991, 2014,Kapitel 7]. Værdierne for formfaktoren ses i Tabellerne 6.4 og 6.5.

Herefter kan de indvendige vindtryk beregnes ved formel 6.29.

Zone/Formfaktor	$c_{pe,10udvendig}$		$c_{pe,10indvendig}$	
	Positiv	Negativ	Positiv	Negativ
F	0,59	-0,59	0,20	-0,30
G	0,59	-0,57	0,20	-0,30
H	0,35	-0,22	0,20	-0,30
I	0,00	-0,40	0,20	-0,30
J	0,00	-0,61	0,20	-0,30

**Tabel 6.4.** Værdier for  $c_{pe,10}$  på udvendige og indvendige tagoverflader for vind fra vest og øst, vindretning  $0^\circ = 180^\circ$  på taget

Zone/Formfaktor	$c_{pe,10udvendig}$		$c_{pe,10indvendig}$	
	Negativ	Positiv	Negativ	Positiv
F	-1,15	0,20	-0,30	
G	-1,38	0,20	-0,30	
H	-0,75	0,20	-0,30	
I	-0,50	0,20	-0,30	

**Tabel 6.5.** Værdier for  $c_{pe,10}$  på udvendige og indvendige tagoverflader for vind fra nord, vindretning  $90^\circ$  på taget

For at bestemme netto vindtrykket skal der opstilles en række tilfælde for, hvordan det udvendige vindtryk og det indvendige vindtryk kan optræde.

Der opstilles fire vindkombinationer for hver vindretning:

1. Tryk udvendigt på FGH + sug for JI og invendigt sug
2. Tryk udvendigt på FGH + sug for JI og invendigt tryk
3. Sug udvendigt for FGH + tryk på JI og invendigt sug
4. Sug udvendigt for FGH + tryk på JI og invendigt tryk

Nedenfor laves et beregningseksempel med vind fra vest med vindkombination 1 for zone F. De resterende værdier kan ses i Tabel 6.6.

Vindlasten skal omregnes til en linjelast, hvorfor der multipliceres med længden mellem bjælkerne, 6,25 m.

$$w_F = (w_{e,F} - w_{i,F})6,25 \text{ m} \quad (6.31)$$

- $w_{e,F}$ : Udvendigt vindtryk for zone F =  $0,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- $w_{i,F}$ : Indvendigt vindtryk for zone F =  $-0,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$w_F = (0,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} - (-0,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2})) \cdot 6,25 \text{ m} = 3,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.32)$$

For alle vindretningerne anvendes vindkombination 1 til videre beregning, og disse laster ses i Tabel 6.6.

Zone/Vindretning	Vest $w \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$	Øst $w \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$	Nord $w \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$
F	3,20	2,56	-2,45
G	3,20	2,56	-3,80
H	2,37	1,89	-1,31
I	-0,36	-0,29	-0,58
J	-1,14	-0,91	-

**Tabel 6.6.** Værdier for nettovindtryk på taget

Fra Tabel 6.6 ses, at værdierne for vest er større i forhold til værdierne for øst. Det formodes derfor, at vindlasten er mere kritisk ved vind fra vest, og der ses fremover bort fra vinden fra øst i projektet. I tabellen ses det ligeledes, at værdierne for nord alle er negative, hvilket skyldes at vinden fra nord kun kan påvirke taget med sug, og dermed ses der i denne rapport også bort fra denne.

Derfor anvendes værdierne for vest til de videre beregninger, når der skal opstilles lastkombinationer.

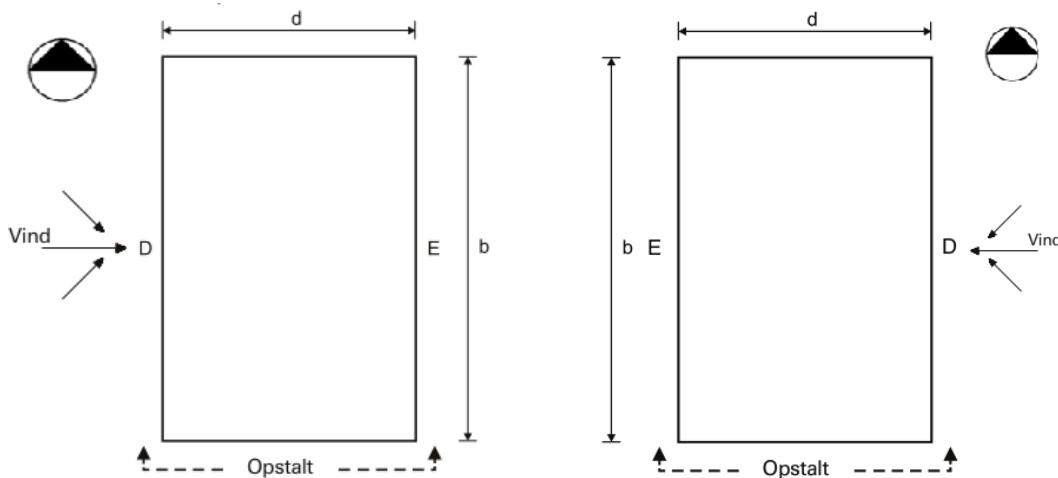
### Vindtryk på facaderne

Vinden vil også påvirke Strøybergs Palæ på facader og endegavle, og derfor skal vindlasten også beregnes for de lodrette vægge.

Nettovindtrykket på facaderne beregnes på samme måde som nettovindtrykket for taget, dog tages der udgangspunkt i Eurocode 1991 [DS/EN-1991, 2014, tabel 7.1]. Længden af

bygningens facader skal anvendes, og igen bruges den fulde længde af bygningen, der består af den nuværende bygning samt tilbygningen, hvilket giver længden 25 m.

For vindretning  $\varphi = 0^\circ$  for vind fra vest og  $\varphi = 180^\circ$  for vind fra øst gælder at  $b = 25$  m,  $d = 12$  m og højden  $h = 16$  m. Bygningen skal igen opdeles i nogle zoner, både for vind fra vest, øst og nord, hvor zonerne D og E ses på Figur 6.16 og 6.17, mens zonerne A, B og C kan ses i Eurocode 1991 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 7.2.2 figur 7.5]. Formfaktorværdierne findes i Tabel 6.7 og 6.8.



**Figur 6.16.** Vind på facaden fra vest [DS/EN-1991, 2014, 7.2.2]

**Figur 6.17.** Vind på facaden fra øst [DS/EN-1991, 2014, 7.2.2]

Igen regnes der først en udvendige vindlast på facaderne og derefter en indvendig vindlast på facaderne, inden der opstilles en række vindkombinationer, hvor nettovindtrykket udregnes. For vindkombinationerne ses der bort fra siderne A, B og C, da den midterste ramme ligger 6,25 meter inde i konstruktionen og derfor ikke ligger i zonerne A, B eller C:

1. Tryk udvendigt på D og sug indvendigt
2. Sug udvendigt på E og sug indvendigt
3. Tryk udvendigt på D og tryk indvendigt
4. Sug udvendigt på E og tryk indvendigt

Der arbejdes videre med vindkombination 1, hvor den udvendige vind virker som tryk på siden D og sug på siden E og med en indre vindlast som sug.

Værdierne for nettovindtrykket kan ses i Tabel 6.9.

Zone/Formfaktor	$c_{pe,10}$ udvendig	$c_{pe,10}$ indvendig	
		Positiv	Negativ
A	-1,20	0,20	-0,30
B	-0,80	0,20	-0,30
D	0,80	0,20	-0,30
E	-0,52	0,20	-0,30

**Tabel 6.7.** Værdier for  $c_{pe,10}$  på facade for vind fra vest og øst, vindretning  $0^\circ = 180^\circ$

Zone/Formfaktor	$c_{pe,10}$ udvendig	$c_{pe,10}$ indvendig	
		Positiv	Negativ
A	-1,20	0,20	-0,30
B	-0,80	0,20	-0,30
C	-0,50	0,20	-0,30
D	0,75	0,20	-0,30
E	-0,40	0,20	-0,30

**Tabel 6.8.** Værdier for  $c_{pe,10}$  for vind fra nord, vindretning  $90^\circ$ 

Zone/Vindretning	Vest	Øst	Nord
	w [ $\frac{kN}{m}$ ]	w [ $\frac{kN}{m}$ ]	w [ $\frac{kN}{m}$ ]
D	3,69	2,95	2,14
E	-0,73	-0,58	-0,95

**Tabel 6.9.** Værdier for nettovindtryk på siderne

Ud fra Tabel 6.9 ses det, at værdierne for vest er størst. Det formodes igen, at vindlasten derfor er mere kritisk fra vest end for de to andre vindretninger, og der ses fremover bort fra vinden fra nord og øst. Derfor anvendes lasterne for vest videre, når der skal opstilles lastkombinationer for bygningen.

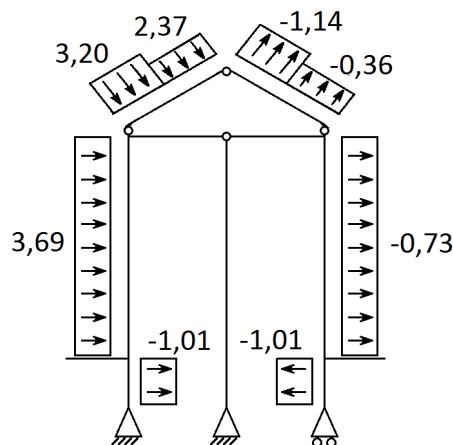
Disse linjelaster virker på højden af facaderne, der er siderne D og E, som hver er 16 m høje.

### Opsummering

Det er nu bestemt i denne rapport, at der fokuseres på vind fra vest, hvor der optræder forskellige udvendige laster, mens den indre altid optræder som sug. Lasterne er omregnet til linjelaster ved at multiplicere med afstanden mellem rammerne, hvilken er 6,25 m.

Systemet betragtes, hvor der laves beregninger for rammen i midten af konstruktionen, hvilken ligger 6,25 m inde på konstruktionen. Det betyder, rammen ligger mellem zone F og G (se Figur 6.15). Derfor udregnes et gennemsnit mellem værdierne for zonerne F og G ved vind på taget, da zonen E for siderne gælder for hele facaden. Dog ses det, at værdierne F og G for taget er ens, og dermed er gennemsnitsværdien lig med værdierne for F og G.

De vindlaster der virker på det statiske system, som anvendes til videre beregninger, er illustreret på Figur 6.18.

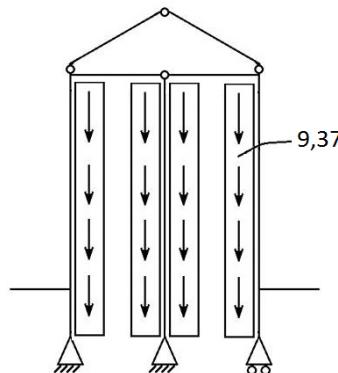


**Figur 6.18.** Vindlast på det statiske system angivet i  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right]$

### 6.1.2.3 Nyttelast

Ud fra Eurocode 1991 aflæses den jævnt fordelede last,  $q_k$ , for kategori A1, som er bolig og lokale adgangsveje, til  $1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  [DS/EN-1991, 2014, tabel 6.2 kapitel 6.3.1.2]. Lasten omregnes til en linjelast ved at multiplicere med afstanden mellem rammerne på 6,25 m. Hermed fås en linjelast på  $9,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ .

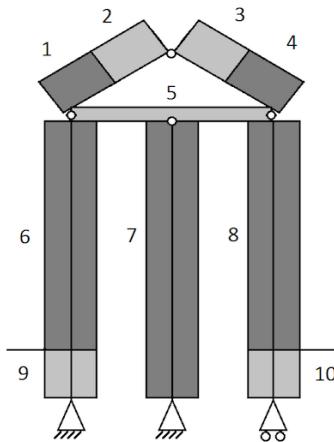
Den nyttelast, der virker på det statiske system er illustreret på Figur 6.19.



**Figur 6.19.** Nyttelast på det statiske system angivet i  $\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right]$

## 6.2 Lastkombinationer

Den karakteristiske egenlast, jordlast, vindlast, snelast og nyttelast er bestemt for tilbygningen til Strøybergs Palæ. Derfor opstilles en række lasttilfælde, for at finde de regningsmæssige laster, som skal anvendes til beregningerne af reaktioner. Lastkombinationerne opstilles ved at betragte tilbygningen i de områder, som er illustreret på Figur 6.20.



**Figur 6.20.** Statisk system inddelt i områder

Ved et rigtigt byggeprojekt skal der opstilles lasttilfælde for alle tænkelige scenarier, som kan forekomme. For dette projekt er det dog ikke en mulighed, og derfor er der til videre beregninger valgt at fokusere på vindlast som den dominerende last. Hermed opstilles der følgende lastkombination for hvert område:

$$E_d = \gamma_{G1} K_{FI} G_{K1} + \gamma_{G2} K_{FI} G_{K2} + \gamma_{Q1} K_{FI} Q_{K1} + \gamma_{Q2} \psi_{0,2} K_{FI} Q_{K2} + \gamma_{Q3} \psi_{0,3} K_{FI} Q_{K3} \quad (6.33)$$

- $\gamma_G$ : Partialkoefficient for permanente laster
- $K_{FI}$ : Konsekvensklasse
- $G_K$ : Karakteristisk værdi for permanent last
- $\gamma_Q$ : Partialkoefficient for variabel last
- $Q_K$ : Karakteristisk værdi for variabel last
- $\psi$ : Lastkombinationsfaktor

Nedenfor gennemgås to beregningseksempler for den regningsmæssige last, med udgangspunkt i henholdsvis område 1 og 6.

I område 1 optræder der vindlast, snelast og egenlast, og beregnes ved følgende:

$$E_d = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 4,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,5 \cdot 1,1 \cdot 3,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,5 \cdot 0 \cdot 1,1 \cdot 5,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.34)$$

Herudfra kan lasten, der virker på løbende skrå længde, lasten der virker vinkelret på taget og lasten der virker på løbende vandret længde findes:

$$\text{Egenlast} = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 4,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.35)$$

$$\text{Vindlast} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 3,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.36)$$

$$\text{Snelast} = 1,5 \cdot 0 \cdot 1,1 \cdot 5,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 0,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.37)$$

I område 6 optræder der vindlast, egenlast fra etagedæk, egenlast fra stålprofiler og nyttelast. Her er egenlasten for etagedæk og egenlasten fra stålprofilerne lagt sammen til  $21,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ . Lastkombinationen opstilles som følgende:

$$E_d = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 21,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + "1,5 \cdot 1,1 \cdot 3,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}}" + "1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,1 \cdot 9,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}" \quad (6.38)$$

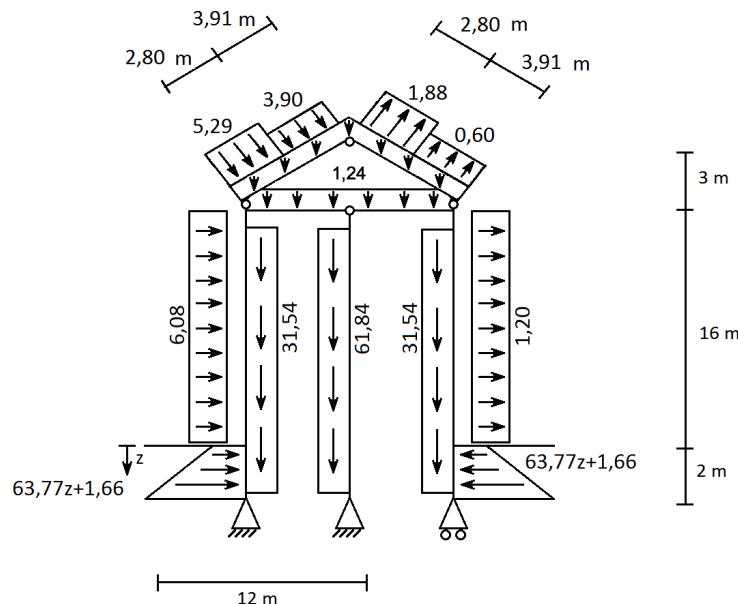
De laster der virker i vandret retning, altså i x-retningen, er vindlast:

$$q_{x6} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 3,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 6,08 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.39)$$

De laster der virker i lodret retning, altså y-retningen, er nyttelast, egenlast fra etagedæk samt egenlast fra stålprofiler:

$$q_{y6} = 1,0 \cdot 1,1 \cdot 21,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,1 \cdot 9,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 31,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (6.40)$$

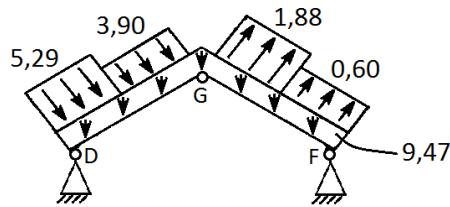
Ovenstående beregninger gentages for hvert område på konstruktionen, og derfor regnes der for i alt 10 områder. De endelige laster der virker på konstruktionen er angivet på Figur 6.21.



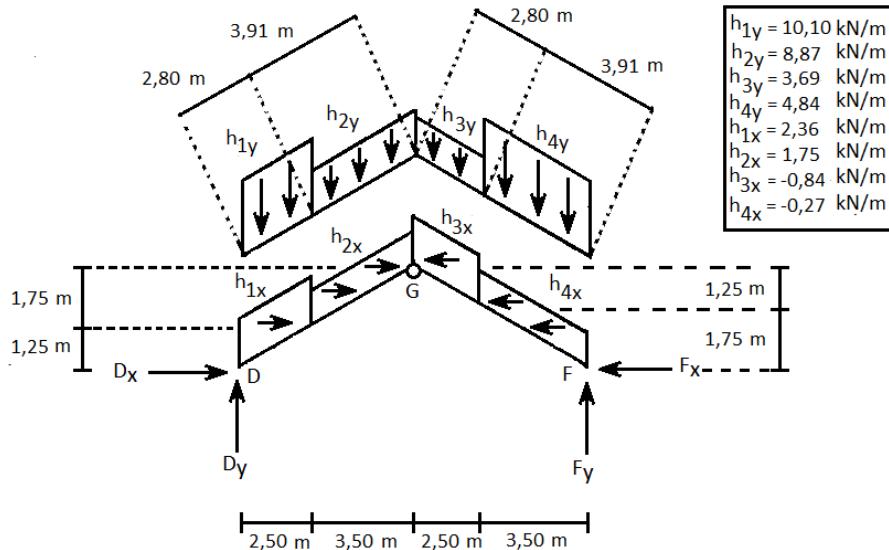
**Figur 6.21.** Samlede laster på det statiske system med vind fra vest dominerende. Lasterne er angivet i  $[\frac{\text{kN}}{\text{m}}]$

Taget i bjælkekonstruktionen er forbundet til den resterende del af konstruktionen via charnierled. Lasterne der virker på taget vil dermed kunne overføres til den resterende del af konstruktionen som punktlaster med angrebspunkt i knudepunkterne, hvor charnierledene er. De reaktioner og laster som virker på taget er illustreret på Figur 6.22.

De tre ligevægtsligninger anvendes til at bestemme punktlasterne. Dette gøres ved at udregne reaktionerne i punkterne D og F, hvor vindlastene på taget omregnes til komposanter. Fritlegemediagrammet samt de laster på taget, der bruges til at udregne reaktionerne, er illustreret på Figur 6.23.



**Figur 6.22.** Tag med laster og understøtninger. Lasterne er angivet i  $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$



**Figur 6.23.** Fritlegemediagram af taget. Lasterne er angivet i  $\frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Reaktionerne for taget kan dermed beregnes:

$$\begin{aligned}
 \text{D} : 0 &= -h_{1y} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot \frac{2,5\text{m}}{2} - h_{2y} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot (2,5 \text{ m} + \frac{3,5\text{m}}{2}) \\
 &\quad - h_{1x} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot (\frac{1,25\text{m}}{2}) - h_{2x} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot (1,25 \text{ m} + \frac{1,75\text{m}}{2}) \\
 &\quad - h_{3y} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot (6 \text{ m} + \frac{2,5\text{m}}{2}) - h_{4y} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot (8,5 \text{ m} + \frac{3,5\text{m}}{2}) \\
 &\quad - h_{3x} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot (1,25 \text{ m} + \frac{1,75\text{m}}{2}) - h_{4x} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot (\frac{1,25\text{m}}{2}) \\
 &\quad + 12 \text{ m} \cdot F_y \\
 F_y &= 39,74 \text{ kN}
 \end{aligned} \tag{6.41}$$

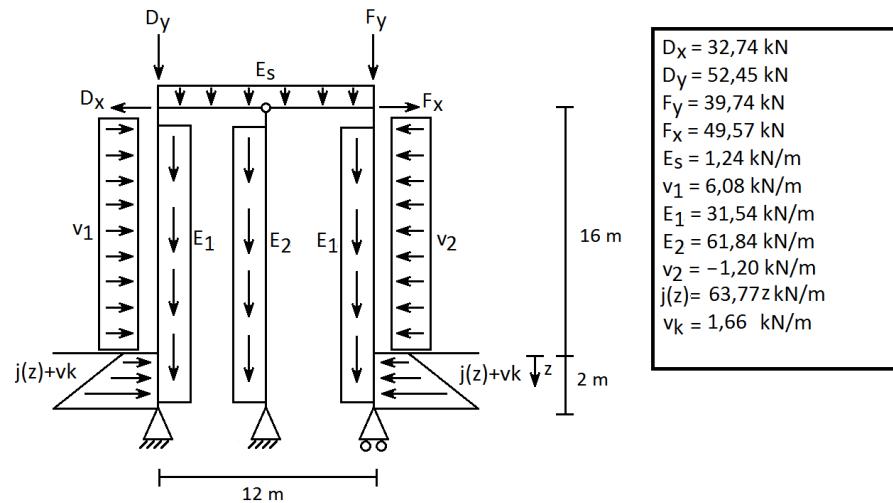
$$\begin{aligned}
 \rightarrow + : 0 &= -h_{1y} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2,80 \text{ m} - h_{2y} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3,91 \text{ m} - h_{3y} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2,80 \text{ m} - h_{4y} \cdot 3,91 \text{ m} + D_y + F_y \\
 D_y &= 52,45 \text{ kN}
 \end{aligned} \tag{6.42}$$

$$\begin{aligned} \widehat{G} : 0 = & -h_{3y} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot \left( \frac{2,5 \text{ m}}{2} \right) - h_{4y} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot \left( 2,5 \text{ m} + \frac{3,5 \text{ m}}{2} \right) - h_{3x} \cdot 2,80 \text{ m} \cdot \left( \frac{1,25 \text{ m}}{2} \right) \\ & - h_{4x} \cdot 3,91 \text{ m} \cdot \left( 1,25 \text{ m} + \frac{1,75 \text{ m}}{2} \right) + F_y \cdot 6 \text{ m} - F_x \cdot 3 \text{ m} \\ F_x = & 49,57 \text{ kN} \end{aligned} \quad (6.43)$$

$$\rightarrow + : 0 = h_{1x} \cdot 2,80 \text{ m} + h_{2x} \cdot 3,91 \text{ m} - h_{3x} \cdot 2,80 \text{ m} - h_{4x} \cdot 3,91 \text{ m} - F_x + D_x \quad (6.44)$$

$$D_x = 32,74 \text{ kN}$$

Disse reaktioner virker som punktlast på taget, og det endelige statiske system med de laster der skal bruges til at finde reaktioner for det statiske system, er illustreret på Figur 6.24.



Figur 6.24. Statisk system med punktlaster og linjelaster



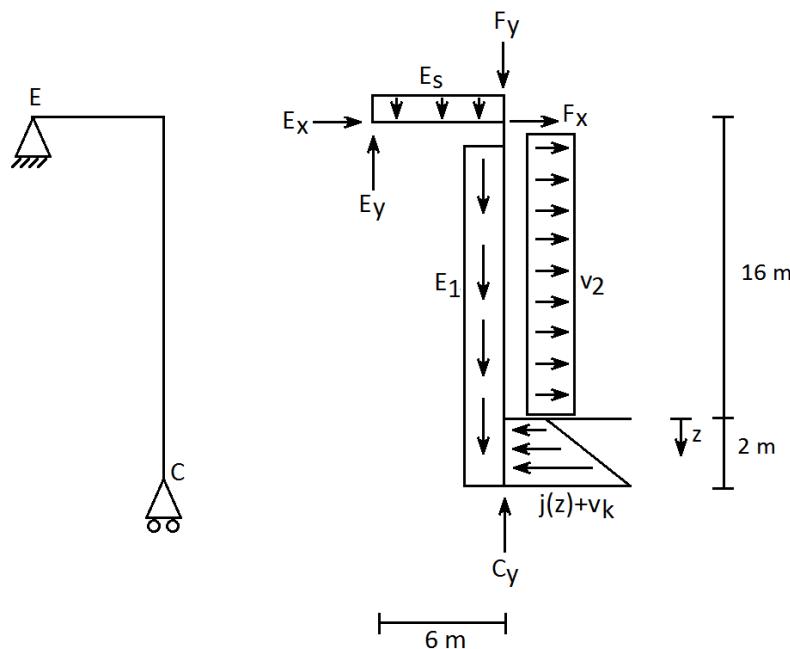
# Brudgrænsetilstand

7

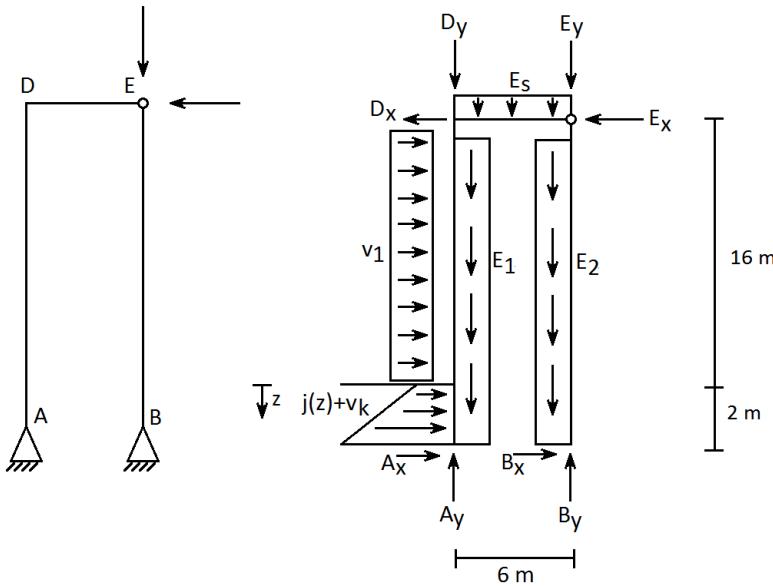
I dette afsnit undersøges tilbygningens brudgrænsetilstand. Først beregnes reaktionerne ud fra Figur 6.24 og dernæst laves snitkræfter. Sluteligt undersøges spændingstilstanden, og udfra ståltypens flydespændingen kan det vurderes, om konstruktionen kan holde eller vil bryde sammen.

## 7.1 Reaktioner

Reaktionerne i de tre understøtninger beregnes ved at opdele konstruktionen. Systemet opdeles i det midterste charnierled i henholdvis en venstre- og højre del, som ses på Figur 7.2 og 7.1. I skæringen mellem de to dele, vil der være snitkræfter; dog er bøjningsmomentet  $M$  lig 0 i charnieret. Dermed optræder der kun normalkraften,  $N$ , og forskydningskraften,  $V$ . Det er derfor muligt, at betragte højre del som en isoleret del af konstruktionen med fast, simpel understøtning i punkt E.



Figur 7.1. Højre side af systemet, samt fritlegemediagram



**Figur 7.2.** Venstre side af systemet, samt fritlegemediagram

Reaktionerne i punkt E kan sættes som punktlaster i charnieret på den venstre side af systemet, som ses på Figur 7.2. Reaktionerne på højre del af systemet beregnes først.

Inden reaktionerne bestemmes skal jordlastens resultant  $j$  beregnes. Dette gøres ved et bestemt integrale:

$$j = \int_0^2 j(z) dz \leftrightarrow j = 127,95 kN \quad (7.1)$$

Først bestemmes den vandrette reaktion i charnieret,  $E_x$  gennem vandret ligevægt:

$$\begin{aligned} \rightarrow + : 0 &= F_x + E_x - j - v_k \cdot 2 \text{ m} - v_2 \cdot 16 \text{ m} \\ E_x &= 62,52 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2)$$

$C_y$  bestemmes gennem momentligevægt om punkt E:

$$\begin{aligned} \overleftarrow{\sum E} : 0 &= -F_y \cdot 6 \text{ m} - E_1 \cdot 18 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + C_y \cdot 6 \text{ m} - j \cdot 17,33 \text{ m} - v_k \cdot 2 \text{ m} \cdot 17 \text{ m} \\ &\quad - E_s \cdot 6 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} - v_2 \cdot 16 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \\ C_y &= 964,68 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Til sidst bestemmes den lodrette reaktion i charnierledet,  $E_y$  gennem lodret ligevægt:

$$\begin{aligned} \uparrow + : 0 &= F_y - E_1 \cdot 18 \text{ m} - E_s \cdot 6 \text{ m} + C_y + E_y \\ E_y &= -349,74 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.4)$$

Reaktionerne  $E_y$  og  $E_x$  påsættes som belastninger i punkt E på det venstre system, så de virker som vist på Figur 7.2. Reaktionerne i det venstre system kan hermed bestemmes.

Først tages der moment om A, for at beregne  $B_y$ :

$$\begin{aligned}\widehat{A} : 0 = & B_y \cdot 6 \text{ m} + E_y \cdot 6 \text{ m} + E_x \cdot 18 \text{ m} - E_2 \cdot 18 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} - E_s \cdot 6 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \\ & + D_x \cdot 18 \text{ m} - v_1 \cdot 16 \text{ m} \cdot (8 \text{ m} + 2 \text{ m}) - j \cdot (2 \text{ m} \cdot \frac{1}{3}) - v_k \cdot 2 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \quad (7.5) \\ B_y = & 658,26 \text{ kN}\end{aligned}$$

Nu laves lodret ligevægt for at bestemme  $A_y$ :

$$\begin{aligned}\uparrow + : 0 = & A_y + B_y - E_y - E_2 \cdot 18 \text{ m} - E_1 \cdot 18 \text{ m} - F_y - E_s \cdot 6 \text{ m} \\ A_y = & 732,77 \text{ kN} \quad (7.6)\end{aligned}$$

For at gøre det muligt at isolere en af de vandrette reaktioner laves der et snit i charnieret. Derefter betragtes den nedre del, og der tages moment omkring charnieret i punkt E, for at bestemme  $B_x$ :

$$\begin{aligned}\widehat{E} : 0 = & B_x \cdot 18 \text{ m} \\ B_x = & 0 \text{ kN} \quad (7.7)\end{aligned}$$

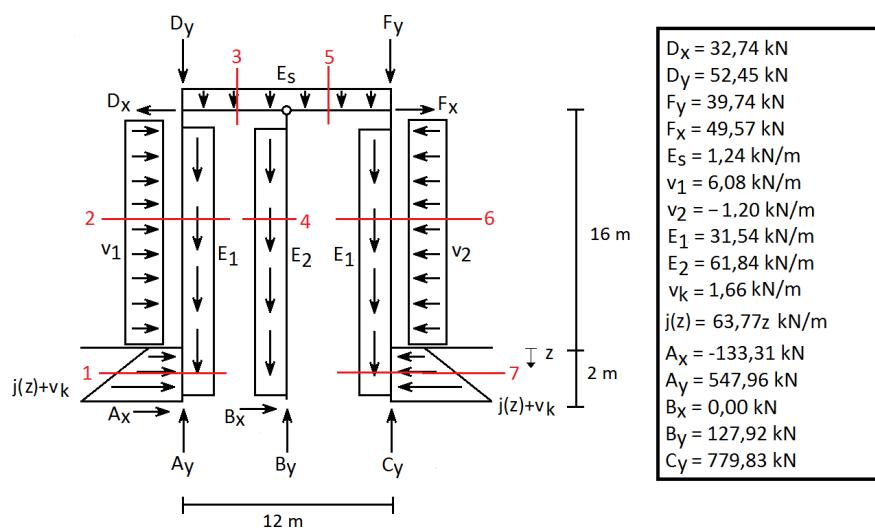
Slutteligt laves vandret ligevægt for at bestemme  $A_x$ :

$$\begin{aligned}\rightarrow + : 0 = & A_x - E_x + B_x + j + v_k \cdot 2 \text{ m} + v_1 \cdot 16 \text{ m} - D_x \\ A_x = & -133,31 \text{ kN} \quad (7.8)\end{aligned}$$

Herved er alle reaktioner bestemt. De kan ses på Figur 7.3.

## 7.2 Snitkræfter

Snitkræfterne for stålrammen til tilbygningen til Strøybergs Palæs kan nu beregnes. Her laves der syv snit, som er illustreret på Figur 7.3. Disse resultater vil bruges til at undersøge, om konstruktionen har en tilstrækkelig bæreevne, eller om den vil bryde sammen.



Figur 7.3. Snit

Nedenfor vises beregningseksempel for snit 1 og snit 5. Beregningerne for de resterende snit kan ses i Bilag ???.

### **Snit 1: $0 \text{ m} < x < 2 \text{ m}$**

Fritlegemediagrammet for snit 1 ses på Figur 7.4.

Først bestemmes normalkraften:

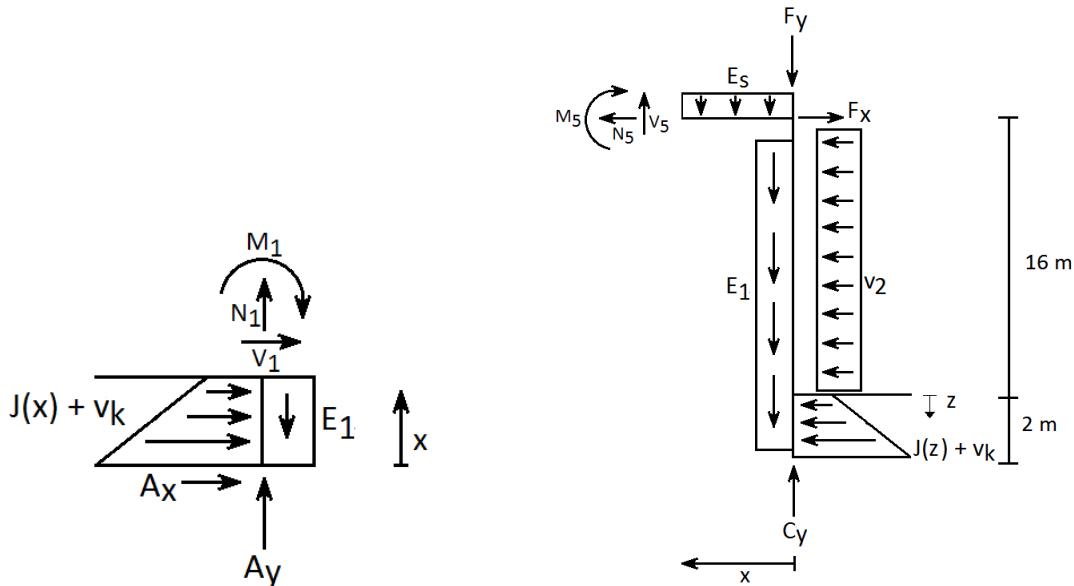
$$0 = N_1 + A_y - E_1 \cdot x \leftrightarrow N_1(x) = 31,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} x - 547,95 \text{kN} \quad (7.9)$$

Nu bestemmes forskydningskraften:

$$0 = V_1 + j + v_k \cdot x + A_x \leftrightarrow V_1(x) = -33,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} x + 133,31 \text{kN} \quad (7.10)$$

Til sidst bestemmes moment:

$$0 = M_1 + j \cdot \frac{2x}{3} + v_k \cdot x \cdot \frac{x}{2} + A_x \cdot x \leftrightarrow M_1(x) = -22,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}} x^2 + 133,30 \text{kNx} \quad (7.11)$$



**Figur 7.4.** Fritlegemediagram for snit 1

**Figur 7.5.** Fritlegemediagram for snit 5

### **Snit 5: $0 \text{ m} < x < 6 \text{ m}$**

Fritlegemediagrammet for snit 1 ses på Figur 7.5.

Normalkraften bestemmes først:

$$0 = -N_5 + F_x - v_2 \cdot 16 \text{ m} - j - v_k \cdot 2 \text{ m} \leftrightarrow N_5 = 49,57 \text{kN} - 48,12 \text{kN} = 1,45 \text{kN} \quad (7.12)$$

Forskydningskraften for snit 5 bestemmes ved:

$$0 = V_5 - E_1 \cdot 18 \text{ m} - F_y + C_y - E_s \cdot x \leftrightarrow V_5(x) = -172,35 \text{kN} + 1,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} x \quad (7.13)$$

Til sidst bestemmes moment:

$$0 = -M_5 - F_y \cdot x - E_1 \cdot 18 \text{ m} \cdot x - E_s \cdot x \frac{x}{2} - v_2 \cdot 16 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} - v_k \cdot 2 \text{ m} \cdot 17 \text{ m} - j \cdot 17,33 \text{ m} + C_y \cdot x \leftrightarrow$$

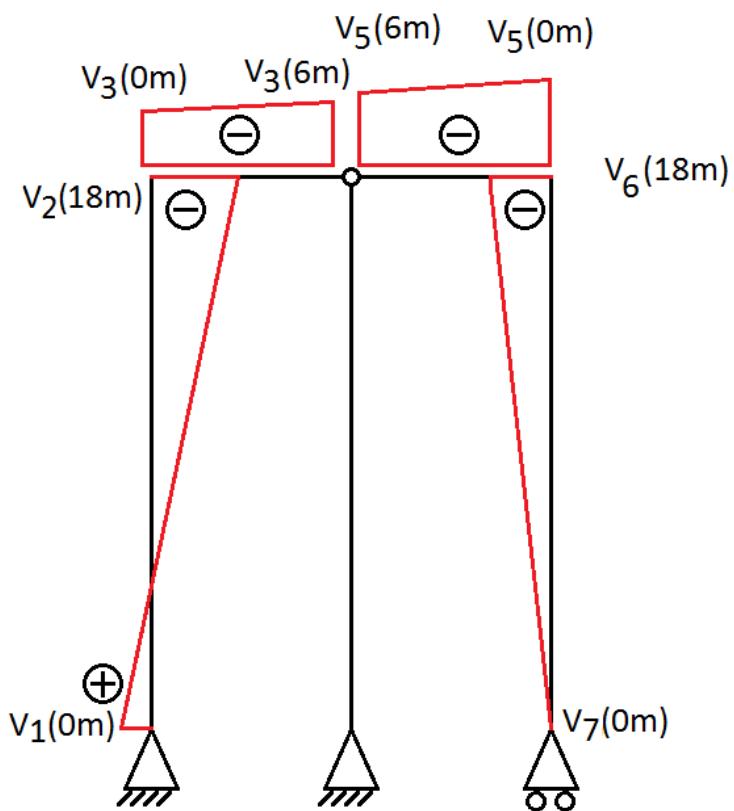
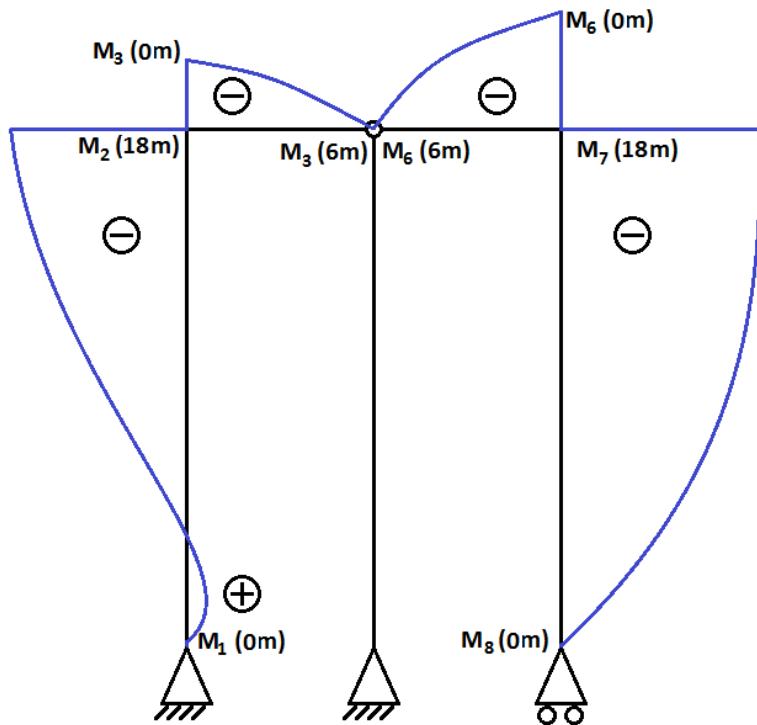
$$M_5(x) = 172,35 \text{ kN} \cdot x - 0,62 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot x^2 - 1011,72 \text{ kNm}$$
(7.14)

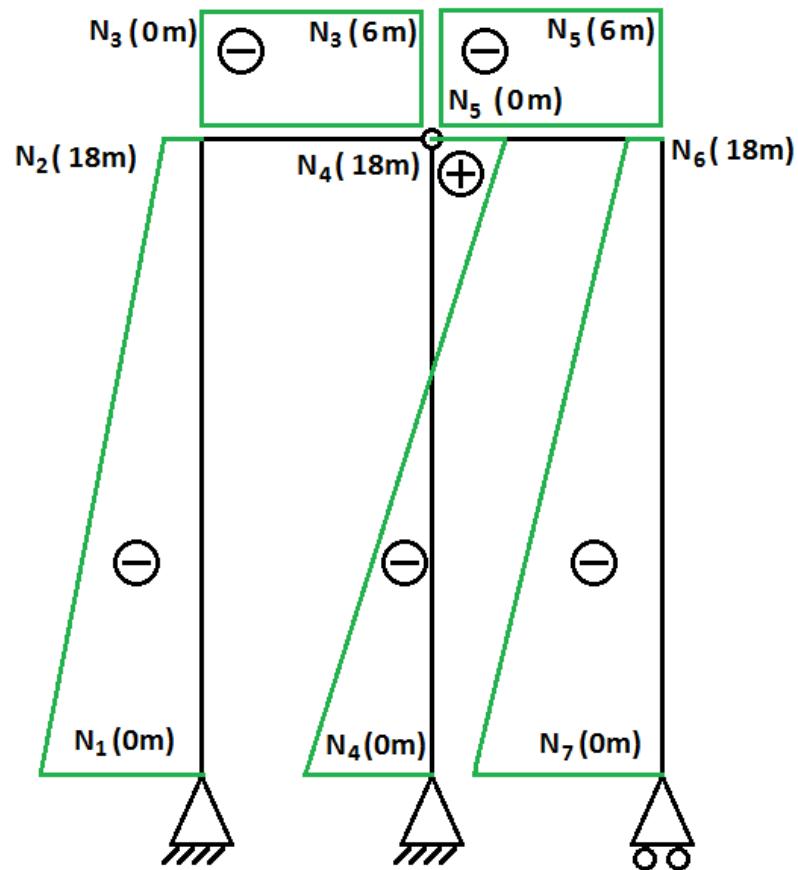
Tabel 7.1 viser resultaterne for alle snittene.

Ud fra snittene er der lavet snitkurver, som er illustreret på Figur 7.6, Figur 7.7 og Figur 7.8. Værdierne i kurverne aflæses i Tabel 7.1, hvor  $V_1$  angiver værdien for forskydningskraften ved snit 1. Altså er  $V_1(0m) = 133,31 \text{ kN}$ ,  $V_1(2m) = 66,02 \text{ kN}$ , osv.

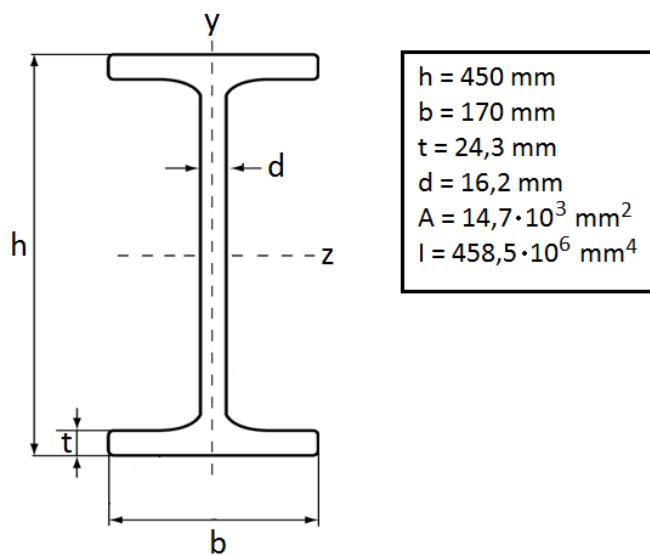
Snit	$N(x_{min})$ [kN]	$N(x_{max})$ [kN]	$V(x_{min})$ [kN]	$V(x_{max})$ [kN]	$M(x_{min})$ [kNm]	$M(x_{max})$ [kNm]
1, $0 < x < 2$	-547,95	-484,87	133,31	66,02	0,00	178,00
2, $2 < x < 18$	-484,87	19,78	53,85	-43,46	178,00	455,80
3, $0 < x < 6$	1,45	1,45	-72,24	-79,69	403,78	0,21
4, $0 < x < 18$	-1027,92	85,20	0,00	0,00	0,00	0,00
5, $0 < x < 6$	1,45	1,45	-172,35	-164,89	-1011,72	0,00
6, $2 < x < 18$	-716,74	-212,09	-64,89	-45,73	-88,62	-1011,94
7, $0 < x < 2$	-779,83	-716,75	0,00	-67,29	0,00	-88,62

**Tabel 7.1.** Snitkraetter for brudgrænsetilstand

*Figur 7.6.* Forskydningskurve*Figur 7.7.* Momentkurve

*Figur 7.8.* Normalkraftkurve

### 7.3 Spænding og dimensioneringskriterier

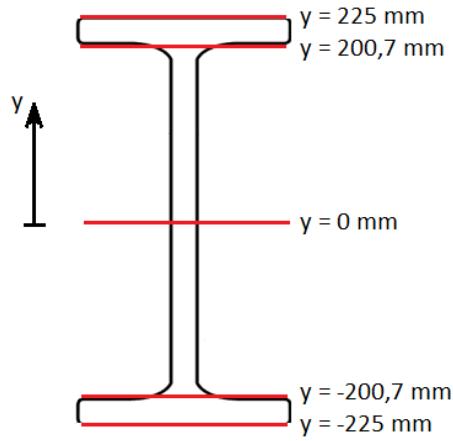
*Figur 7.9.* I-profil 450

Hovedformålet med dette afsnit er, at undersøge om konstruktionen har en tilstrækkelig bæreevne. Derfor undersøges spændingstilstanden ved Von Mises, hvor det skal gælde:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma} \quad (7.15)$$

- $\sigma$ : Normalspænding
- $\tau$ : Forskydningsspænding
- $f_{yk}$ : Den karakteristiske flydespænding, der afhænger af ståltype. For ståltype S235 ved  $16 < t \leq 40$  er  $f_{yk} = 225 MPa$  [Jensen, 2013, s. 213]
- $\gamma$ : Partialkoefficient, der sættes til 1,1 [Jensen, 2013, s. 212]

Spændingstilstanden undersøges i fem snit på I-profilen, som ses på Figur 7.10.



**Figur 7.10.** I-profil med snit

Først beregnes normal- og forskydningsspændingen.

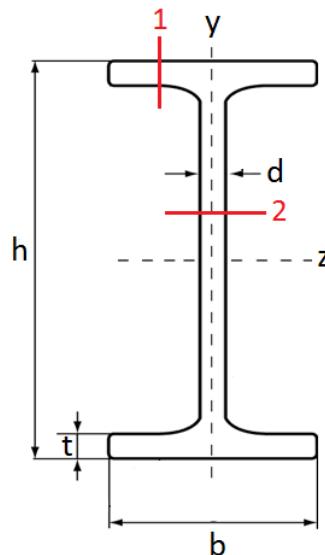
### 7.3.1 Forskydningsspænding

Forskydningsspændingen  $\tau$  beregnes ved Grasshofs formel:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad (7.16)$$

- $V$ : Forskydningskraft, som er bestemt igennem snitkræfter
- $Q$ : Statisk moment
- $b$ : Bredde

Forskydningsspændingsfordelingen på I-profilen findes ved, at lave to snit, som er illustreret på Figur 7.11.



**Figur 7.11.** Snit 1 og snit 2 på I-profilen til bestemmelse af forskydningssspændingsfordeling

Den ubekendte faktor til beregningen af forskydningssspændingen er det statiske moment  $Q$ , der er defineret som:

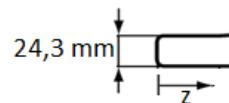
$$Q = \bar{y}A \quad (7.17)$$

- $\bar{y}$ : Tyngdepunktskoordinat
- A: Areal

$Q$  beregnes for snit 1 og snit 2, hvormed forskydningssspændingen i henholdsvis flangen og kroppen kan beregnes.

#### **Snit 1: Forskydningssspændingsfordeling i flangen**

Snit 1 er vist på Figur 7.12, hvor  $0 \text{ mm} < z < 76,9 \text{ mm}$



**Figur 7.12.** Snit 1

Tyngdepunktskoordinat  $\bar{y}$  samt arealet  $A$  bestemmes:

$$\bar{y} = \frac{450\text{mm} - 2 \cdot 24,3\text{mm}}{2} + \frac{24,3\text{mm}}{2} = 212,85\text{mm} \quad (7.18)$$

$$A = z \cdot 24,3 \text{ mm} \quad (7.19)$$

Dermed bestemmes det statiske moment til:

$$Q(z) = 212,85 \text{ mm} \cdot (z \cdot 24,3 \text{ mm}) \quad (7.20)$$

$z$  sættes til 0 mm og 76,9 mm for at bestemme forskydningsspændingen på I-profilets flange:

$$Q_{0\text{mm}} = 212,85 \text{ mm} \cdot (0 \text{ mm} \cdot 24,3 \text{ mm}) = 0 \text{ mm}^3 \quad (7.21)$$

$$Q_{76,9\text{mm}} = 212,85 \text{ mm} \cdot (76,9 \text{ mm} \cdot 24,3 \text{ mm}) = 3,977 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad (7.22)$$

Dermed kan den mindste og den største forskydningsspænding bestemmes, hvor forskydningskraften,  $V$  afhænger af, hvilket snit på konstruktionen der vælges:

$$\tau_{max} = \frac{V \cdot 3,977 \cdot 10^5 \text{ mm}^3}{458,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 24,3 \text{ mm}} \quad (7.23)$$

$$\tau_{min} = \frac{V \cdot 0 \text{ mm}^3}{458,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 24,3 \text{ mm}} \quad (7.24)$$

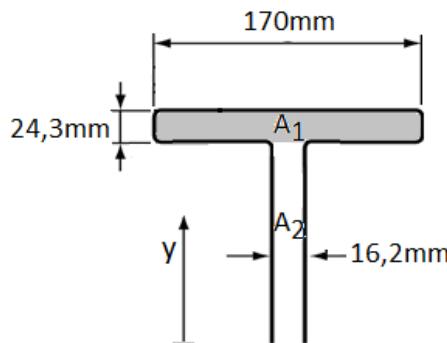
Den største og mindste forskydningsspænding for de valgte kritiske punkter er vist i Tabel 7.2, og forskydningsspændingsfordelingen i flangen er illustreret på Figur 7.14.

Kritisk punkt	Forskydningskraft, $V$ [kN]	$\tau_{max}$ [MPa]	$\tau_{min}$ [MPa]
Snit 4 ved 0 m	0,00	0,00	0,00
Snit 5 ved 0 m	-357,20	-12,75	0,00
Snit 6 ved 18 m	-112,10	-4,00	0,00

**Tabel 7.2.** Forskydningsspænding i flangen

### **Snit 2: Forskydningsspændingsfordeling i kroppen**

Snit 2 er vist på Figur 7.13, hvor  $-200,7 \text{ mm} < y < 200,7 \text{ mm}$



**Figur 7.13.** Snit 2

Som det ses på Figur 7.13 er I-profilet inddelt i to arealer;  $A_1$  og  $A_2$ . Derfor beregnes det statiske moment  $Q$  for hvert areal;  $Q_1$  og  $Q_2$ , og den samlede  $Q$  er dermed  $Q = Q_1 + Q_2$ .

Først findes  $Q$  for  $A_1$ :

$$Q_1 = 24,3 \text{ mm} \cdot 170 \text{ mm} \cdot (225 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 24,3 \text{ mm}) = 8,793 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad (7.25)$$

$Q$  for  $A_2$ , som er afhængig af  $y$ , bestemmes nu:

$$Q_2(y) = (16,2 \text{ mm} \cdot (200,7 \text{ mm} - y)) \cdot \left( \frac{200,7 \text{ mm} - y}{2} + y \right) \quad (7.26)$$

$Q_1$  er en konstant og  $Q_2$  er en funktion af  $y$ . Dermed fås et samlet statisk moment  $Q$ , som funktion af  $y$ :

$$Q(y) = 8,793 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 + ((16,2 \text{ mm} \cdot (200,7 \text{ mm} - y)) \cdot \left( \frac{200,7 \text{ mm} - y}{2} + y \right)) \quad (7.27)$$

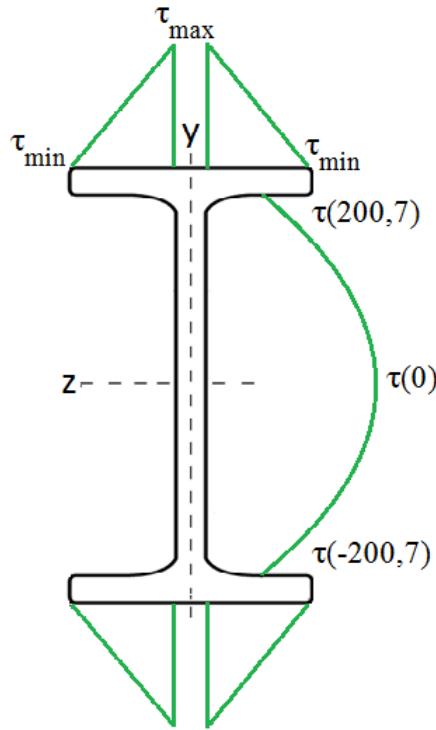
Forskydningsspændingen kan hermed beregnes ved:

$$\tau(y) = \frac{V \cdot Q(y)}{458,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \cdot 16,2 \text{ mm}} \quad (7.28)$$

Ved at sætte  $y$  til 0 og  $\pm 200,7 \text{ mm}$  findes forskydningsspænderne langs I-profilets krop. Forskydningsspændingen vil altid være 0 i oversiden, dvs. ved  $y = 225 \text{ mm}$ . Forskydningsspændingen for de valgte kritiske punkter ses i Tabel 7.3, og forskydningsspændingsfordelingen på I-profilet er illustreret på Figur 7.14.

Kritisk punkt	Forskydningskraft, V [kN]	$\tau(0)$ [MPa]	$\tau(200,7)$ [MPa]	$\tau(-200,7)$ [MPa]
Snit 4 ved 0 m	0,00	0,00	0,00	0,00
Snit 5 ved 0 m	-357,20	-57,97	-42,28	-42,28
Snit 6 ved 18 m	-112,10	-18,19	-13,27	-13,27

**Tabel 7.3.** Forskydningsspænding i kroppen



**Figur 7.14.** Forskydningsspændingsfordeling

### 7.3.2 Normalspænding

Normalspændingen  $\sigma$  findes ved Naviers formel:

$$\sigma = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} y \quad (7.29)$$

- N: Normalkraft, som er bestemt igennem snitkræfter
- A: Tværsnitsareal, som for stålprofil 450 er  $14,7 \cdot 10^3 \text{mm}^2$  [Jensen, 2013].
- M: Moment, som er bestemt igennem snitkræfter
- y: Koordinat til snit
- I: Inertimoment, som for stålprofil 450 er  $458,5 \cdot 10^6 \text{mm}^4$  [Jensen, 2013].

Her er den eneste ubekendte faktor  $y$ . Derfor fås normalspændingen som en funktion af  $y$ , hvor N og M afhænger af hvilket snit på konstruktionen der undersøges:

$$\sigma(y) = \frac{N}{14,7 \cdot 10^3 \text{mm}^2} - \frac{M}{458,5 \cdot 10^6 \text{mm}^4} y \quad (7.30)$$

Spændingen beregnes i snittene  $y = 0\text{mm}$ ,  $y = \pm 200,7\text{mm}$  og  $y = \pm 225\text{mm}$ . Resultatet ses i Tabel 7.4.

Kritisk punkt	Normalkraft, N [kN]	Moment, M [kNm]	$\sigma(0)[\text{MPa}]$	$\sigma(200,7)[\text{MPa}]$	$\sigma(-200,7)[\text{MPa}]$
Snit 4 ved 0 m	-658,26	0,00	-44,78	-44,78	-44,78
Snit 5 ved 0 m	-62,52	-2120,82	-4,25	-3,32	-5,18
Snit 6 ved 18 m	-396,94	-2120,82	-27,00	-26,08	-27,93

**Tabel 7.4.** Normalspænding

### 7.3.3 Spændingstilstand

Spændingstilstanden er beregnet for alle snittene, og de største værdier er angivet i Tabel 7.5.

Den regningsmæssige flydespænding  $f_y$  bestemmes til:

$$f_y = \frac{225 \text{ MPa}}{1,1} = 204,54 \text{ MPa} \quad (7.31)$$

Udnyttelsesgraden beregnes ved:

$$\frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\frac{f_{yk}}{\gamma}} \leq 1 \quad (7.32)$$

Overskider denne værdi 1, betyder det, at den regningsmæssige flydespænding er overskredet, og dermed har tilbygningen ikke en tilstrækkelig bæreevne.

Kritisk punkt	Maksimal spændingstilstand [MPa]	$\frac{f_{yk}}{\gamma}$	Udnyttelsesgrad
Snit 4 ved 0 m	44,78	204,54	0,22
Snit 5 ved 0 m	100,51	204,54	0,49
Snit 6 ved 18 m	41,50	204,54	0,20

**Tabel 7.5.** Spændingstilstand

Det ses, at den højeste spænding er 100,50 MPa med en udnyttelsesgrad på 0,49, og dermed overskider spændingen ikke den regningsmæssige flydespænding. Det kan dermed konkluderes, at tilbygningen har en tilstrækkelig bæreevne.



# Anvendelsesgrænsetilstand

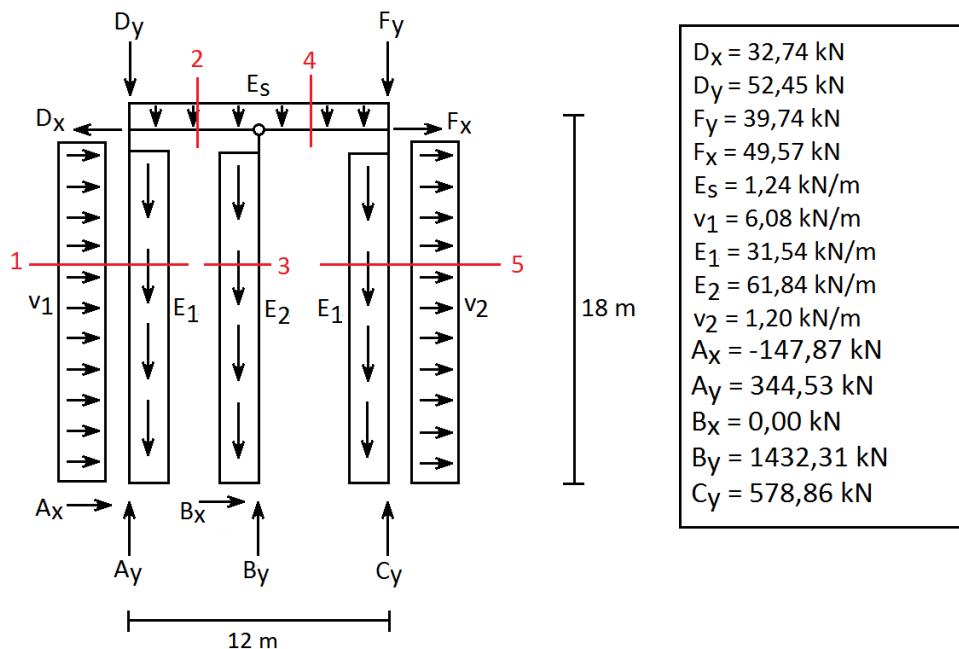
# 8

I det følgende afsnit bestemmes anvendelsesgrænsetilstanden for tilbygningen til Strøybergs Palæ. Ud fra anvendelsesgrænsetilstanden kan det vurderes, om bygningen har tilstrækkelig små deformationer til, at dimensioner kan godtages.

Jævnført Eurocode 1993, afsnit 7.2, beregnes anvendelsesgrænsetilstanden kun for én variabel last, hvilken vælges til at være vindlasten. Denne last forlænges helt ned til understøtningerne, og der ses bort fra jordlasten. Derfor er der udregnet nye reaktioner for konstruktionen, som er vist på Figur 8.1. Udregningerne findes i BILAG XX.

## 8.1 Moment

Ved udbøjning skal bjælkens differentialligning anvendes, og derfor skal momentligningen for hvert snit bruges. Udbøjningen beregnes ud fra hovedkonstruktionens stålstænger, hvor der laves fem snit, som vist på Figur 8.1. Dog ses der bort fra den højre del af konstruktionen, og dermed er det kun snit 1-3 der anvendes.

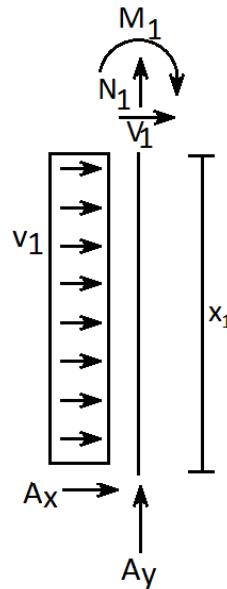


Figur 8.1. Snit

Nedenfor er vist et eksempel på, hvordan momentligningen regnes for snit 1. Alle beregningerne findes i Bilag XX.

**Snit 1:  $0 \text{ m} < x_1 < 18 \text{ m}$**

Fritlegemediagrammet for snit 1 ses på Figur 8.2. LAV NYT BILLEDE!



**Figur 8.2.** Snit 1

$$\text{PILEPAA!}(POS MEDURET)0 = M_1 + A_x x_1 + v_1 x_1 \frac{x}{2} M_1(x_1) = -A_x x_1 - \frac{1}{2} v_1 x_1^2 \quad (8.1)$$

Følgende momentligninger fås for snit 1, 2 og 3, og disse kaldes  $M_1$ ,  $M_2$  og  $M_3$ :

$$M_1(x_1) = -A_x x_1 - \frac{1}{2} v_1 x_1^2 = v'' EI \quad (8.2)$$

$$M_2(x_2) = -v_1 \cdot 162m^2 - A_x \cdot 18m + A_y x_2 - P_1 y x_2^2 = v'' EI \quad (8.3)$$

$$M_3(x_3) = B_x x_3 = v'' EI \quad (8.4)$$

## 8.2 Bjælkens differentialligning

Nu skal bjælkens differentialligning anvendes. Da det statiske system for tilbygningen til Strøybergs Palæ er statisk bestemt, er det den anden ordens afledeede, som anvendes for at bestemme udbøjningerne.

For  $M_1$  bestemmes nu den første afledeede  $\alpha_1$  og anden afledeede  $u_1$ :

$$\int \frac{M_1(x_1)}{EI} = \int \frac{-A_x x_1 - \frac{1}{2} \cdot v_1 x_1^2}{EI} = \alpha_1(x_1) = \frac{-\frac{1}{2} A_x x_1^2 - \frac{1}{6} v_1 x_1^3}{EI} + k_1 \quad (8.5)$$

$$\int \alpha_1(x_1) = \int \frac{-\frac{1}{2}A_x x_1^2 - \frac{1}{6}v_1 x_1^3}{EI} + k_1 = u_1(x_1) = \frac{-\frac{1}{6}A_x x_1^3 - \frac{1}{24}v_1 x_1^4}{EI} + k_1 x_1 + k_2 \quad (8.6)$$

Det samme gøres for  $M_2$  og  $M_3$ , hvilket giver følgende funktioner for den første og anden afledede:

$M_2$ :

$$\alpha_2(x_2) = \frac{-v_1 \cdot 162m^2 \cdot x_2 - A_x \cdot 18m \cdot x_2 + \frac{1}{2}A_y x_2^2 - \frac{1}{2}P_1 y x_2^2}{EI} + k_3 \quad (8.7)$$

$$u_2(x_2) = \frac{-v_1 \cdot 81m^2 x_2^2 - A_x \cdot 9m \cdot x_2^2 + \frac{1}{6}A_y x_2^3 - \frac{1}{6}P_1 y x_2^3}{EI} + k_3 x_2 + k_4 \quad (8.8)$$

$M_3$ :

$$\alpha_3(x_3) = \frac{1}{2} \frac{B_x x_3^2}{EI} + k_5 \quad (8.9)$$

$$u_3(x_3) = \frac{1}{6} \frac{B_x x_3^3}{EI} + k_5 x_3 + k_6 \quad (8.10)$$

Ved integrering af ligningerne giver dette 6 ligninger med 6 ubekendte konstanter. Disse bestemmes ved at opstille 6 randbetingelser for det statiske system:

$$\begin{aligned} u_1(0) &= 0 \\ \alpha_1(h) &= \alpha_2(0) \\ u_1(h) &= u_3(h) \\ u_2(h) &= 0 \\ u_2(l) &= 0 \end{aligned}$$

De opsatte randbetingelser løses, og de 6 konstanter får værdierne:

$$\begin{aligned} k_1 &= -0,14 \\ k_2 &= 0 \\ k_3 &= -0,02 \\ k_4 &= 0 \\ k_5 &= -0,10 \\ k_6 &= 0 \end{aligned}$$

Udregningerne for konstanterne findes i bilag XX!

Konstanterne indsættes nu i formlerne for  $u_1(x_1)$ ,  $u_2(x_2)$  og  $u_3(x_3)$ , og ud fra de nye funktioner kan udbøjningen bestemmes.

$$u_1(18m) = -1,76m \quad (8.11)$$

$$u_2(3m) = -0,02m \quad (8.12)$$

$$u_3(18m) = -1,76m. \quad (8.13)$$

#### TEGN EN UDBØJNINGSKURVE FOR KONSTRUKTIONEN?

Disse udbøjninger skal nu sammenlignes med de maksimalt tilladte udbøjninger for en bærende konstruktion, som findes i Eurocode 1993, afsnit 7.2.

Maksimal vandret udbøjning:

$$\frac{h_3}{500} = \frac{18000mm}{500} = 36mm \quad (8.14)$$

Maksimal lodret udbøjning

$$\frac{l}{400} = \frac{6000mm}{400} = 15mm \quad (8.15)$$

# Geologi 9

---

For at kunne dimensionere et fundament, er det vigtigt at have en grundlæggende viden om det materiale, der arbejdes med, altså hvilken jord, samt dets egenskaber og geologien i området. I det følgende vil der derfor foretages en beskrivelse af Aalborgs geologi, samt en beskrivelse af jorden og dets styrkeparametre.

## 9.1 Jord

### 9.1.1 Beskrivelse af jord og jordtyper

Jord er en massebetegnelse, da der findes mange forskellige typer af jordarter. Der findes to hovedgrupper af jord; rene mineraljordarter og organiske jordarter.

De rene mineraljordarter kan være sorterede eller usorterede. Mineraljordarterne kan blive sorteret ved vand- og vindaflejring, og kan blive til det, der kendes som grus, sand, silt og ler. De usorterede mineraljordarter aflejres primært ved gletsjeraflejring, og betegnes som morænejordarter kaldet till.[Thorsen, 1998]

Organiske jordarter består af organisk materiale i form af plante- eller dyrerester. Disse jordarter kendes som muld, tørv, gytje mm.[Miljøministeriet, a]

De forskellige jordtyper kan opdeles i to kategorier; friktionsjord og kohæsionsjord som har forskellige egenskaber. Egenskaberne afhænger af kornstørrelserne, som angives ved kornets diameter, og herved kan de inddeltes i kornfraktioner[Ovesen et al., 2014]. De grovkornede jordarter er friktionsjord hvor styrken kommer fra friktion mellem kornene. De finkornede jordarter er kohæsionsjord, hvor styrken skyldes indre sammenhæng mellem kornene. For eksempel ses inddelingen af kornstørrelserne for nogle mineral jordarter på Figur 9.1 .

Sten og blokke	over	60	mm
Grusfraktion	60	- 2	mm
Sandfraktion	2	- 0.06	mm
Siltfraktion	0.06	- 0.002	mm
Ler fraktionen	under	0.002	mm

**Figur 9.1.** Inddeling af kornstørrelser for mineraljordarter (KILDE)

### 9.1.2 Jordtypernes udseende og dannelse

Grus- og sandjordarter skabes ved forvitring og erosion af materiale fra faste bjergarter. Materialet bliver herefter transporteret og aflejret via vind eller vand. Dette gør, at deres sammensætning bestemmes af udgangsmaterialet, men i lige så høj grad af transportmåden og transporttiden. Transporttiden kan gøre, at bløde dele af materialet opløses, samt

at materialet får en afrundet kornform, og dette giver en mindre friktionsvinkel. Den relative store kornstørrelse ved grus og sandjordarter gør, at de har et groft porenet, hvilket medvirker, at vandet bevæger sig let i materialet, dvs. at permeabiliteten er stor. Samtidig ved belastning af materialet sker der en vandudpresning, hvilket er en hurtig konsolidering.[Thorsen, 1998]

Grus- og sandjordarters styrkeegenskaber afhænger af friktionen mellem kornene, som afhænger af kornenes lejringstæthed, materialets enskornethed og kornenes enkelte form; om de er skarpkantet eller afrundet.[Thorsen, 1998]

Lerjordarter har alle et bestemt indhold af lermineraler. Indholdet af disse har en betydende indflydelse på lerjordartens egenskaber, også selvom de ikke udgør størstedelen af jordarten. Lermineralerne bliver til ved en kemisk forvitring af faste bjergarter. De mest betydende grupper af lermineraler er; kaolinit, smectit, illit og chlorit. Den kemiske sammensætning af lermineralerne kan være meget forskellige og har en stor betydning for de fysiske egenskaber.[Thorsen, 1998] Alle lermineralerne kan optage vandmolekyler, hvilket gør, at lerjordarter kan indeholde meget vand. Betydningen af vandet kan fysisk ses ved tilslætning af vand til lerjordarterne, som gør at de sveller og ligeledes svinder ved tørring. Hvis lerpartiklerne er placeret med kort afstand til hinanden, vil dette give jordarten en større styrke.[Thorsen, 1998] Ved at smadre jordarten formindskes jordartens styrke, men en del af denne styrke kan jordarten genvinde. [Thorsen, 1998]

Morænejordarter er typisk usorterede mineraljordarter, og kan derfor bestå af flere forskellige kornstørrelser. Fordelingen af dem kan skifte inden for korte afstande. Morænejordarter har normalt gode styrke- og deformationsegenskaber, da de er forbelastede.[Thorsen, 1998]

Organiske jordarters egenskaber er afhængige af de organiske bestanddeles art. De forskellige typer af organiske jordarter bliver dannet forskellige steder. Tørv og gytje bliver for eksempel dannet i moser, søer, bugter, fjorde mm, og dets styrke er ikke høj. Dette skyldes, at disse indeholder store mængder vand, da der ikke er faste partikler og at organiske materialer forsvinder med tiden. [Thorsen, 1998]

### 9.1.3 Jords styrke og stivhed

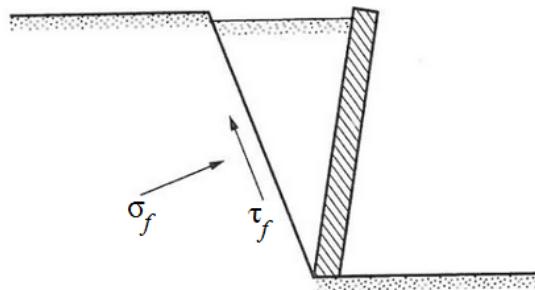
Jord betragtes, ligesom beton og stål osv, som et byggemateriale, da dens fysiske egenskaber er vigtige for konstruktions dimensionering.[Hansen, 1999]

Jordarterne har meget forskellige styrker, og inden for geoteknik kan jordarterne inddeltes i to forskellige typer. Den ene type er friktionsjord, for eksempel sand og grus. Den anden er kohæsionsjord med et indhold af mere end 10% lerfraktion. Friktionsjord er under stabil lejring næsten usammentrykkeligt, og hvis deformationer finder sted forskydninger eller gnidninger kornene imellem.[Hansen, 1999]

I kohæsionsjord kan kornskelettet være stabilt ved åbne strukturer, men kun ved små deformationer og belastninger, afhængig af forbelastning. Ved store belastninger er disse jordarter sammentrykkelige.

Med hensyn til jordarters styrke, benyttes begreberne træk- og trykstyrke normalvis ikke. I stedet anvendes forskydningsstyrken. Denne anvendes da der ved brud i jorden, sker en forskydning af jordmasser. Når der sker et sådant brud, virker der normal- og forskydningsspændinger langs brudlinjen.[Ovesen et al., 2014] Forskydningsspændingen  $\tau_f$  virker som en reaktion på jordmassens bevægelse nedad, og derfor er denne rettet skråt op

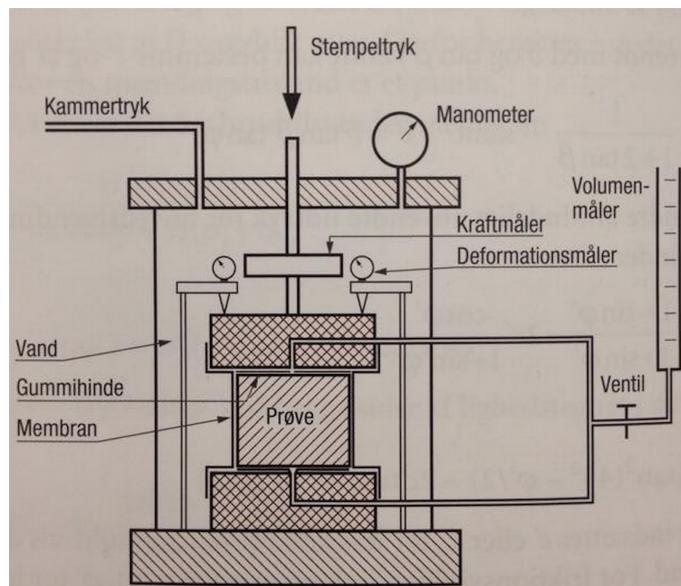
ad. Normalspændingen  $\sigma_f$ , også kaldet brudspændingen, står vinkelret på brudlinjen, og regnes positiv ved tryk [Ovesen et al., 2014]. Dette er illustreret på Figur 9.2.



**Figur 9.2. BILLEDTEKST**

For at finde styrken i jord laves et triakselforsøg, der laves via et triaksialapparat, dette er illustreret på Figur 9.3. Forsøget er det mest anvendte for at finde jords styrke. En cylindrisk jordprøve tilpasses så den har samme diameter som højde. Prøven indsættes lodret i apparatet og indesluttet en tæt gummimembran. Trykhoveder er placeret på prøvens ender, disse er gjort næsten helt glatte vha. siliconesmurte gummihinder, der gør det muligt at holde prøvens cylindriske form indtil bruddet.

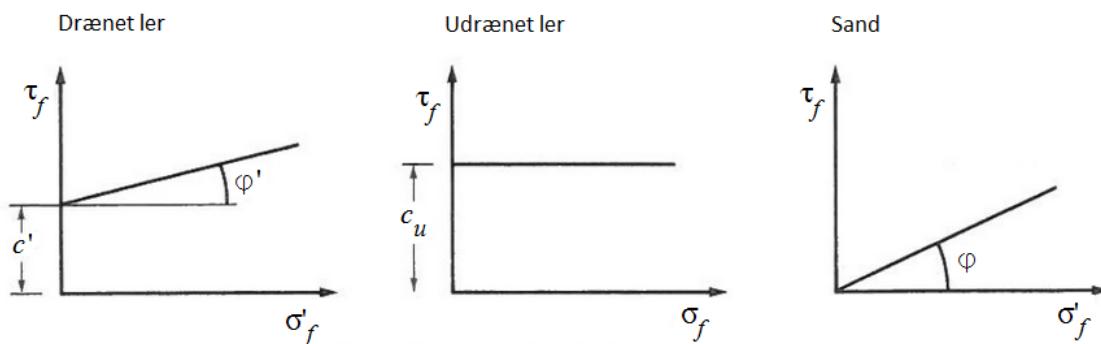
Forsøget kan deles op i to faser kaldet 1. isotrop spændingstilstand, 2. Voksende deviatorspænding. Begge faser kan gennemføres på to forskellige måder. Fase 1 hvor kammertrykket indstilles som ønsket, gennemføres konsolideret eller ukonsolideret, hvor drænventilerne er åben i den konsolideretproces og lukket i den ukonsolideret. I fase 2. påføres prøven gradvist et øget stempeltryk, hvor der til sidst sker et brud i prøven. Denne fase kan også udføres med lukket eller åben ventil, og kaldes for henholdsvis drænet og udrænet [Ovesen et al., 2014].



**Figur 9.3. BILLEDTEKST + KILDE**

Frikionsvinklen er et mål for jord styrke. Frikionsvinklen er vidt forskellige alt efter jordtype, hvilket er illustreret på Figur 9.4. Spændingernes størrelse har en betydning, da friktionsvinklen aftager med voksende spændinger. Der optræder også en kohæsion med

disse spændinger, men dette er svært at regne i praksis, og derfor sættes  $c$  (kohæsion) oftest lig nul ved eksempelvis sand.



**Figur 9.4.** Brudbetingelser for ler og sand [Ovesen et al., 2014]

## 9.2 Aalborgs geologi

Det danske landskab er overvejende formet under den sidste istid, Weichsel-istiden, der fandt sted for ca. 114.000-10.000 år siden. Under jordoverfladen findes bjergarter og aflejringer fra yngre tid end Weichsel-istiden. Det ældste i Danmarks dybder er grundfjeldet, bestående af granit og gnejs [Larsen, 1999], der anses for at ligge som en sokkel under Danmark og regnes for at være 1200-850 mio. år gammel. Over grundfjeldet findes aflejringer, der viser, hvordan klima, flora, fauna og jordskorpen har ændret sig de sidste ca. 500 mio. år samt hvordan hav og land skiftevis har haft indflydelse på området [Redaktionen].

Kridttiden startede for 135 mio. år siden og sluttede igen for 65 mio. år siden. Kridttiden er opdelt i to perioder; Nedre- og Øvre Kridt, hvor Nedre Kridt strækker sig fra 135-100 mio. år siden, mens Øvre Kridt er fra 100-65 mio. år siden. Øvre Kridt består hovedsageligt af skrivekridt [Larsen, 1999], som er en hvid bjergart, der let smitter af og indeholder store mængder kalk, ofte mellem 95 og 99,5%. Kridtlagene er afsat på bunden af havet, som formodes at have haft en vanddybde på 100-250 m. Ved kridtlagets overflade findes såkaldte skorstene, der er skrål eller lodrette rør, ned gennem kridtlaget, fyldt med jord, som gør kridtlaget porøst [Berthelsen, 1987, s. 15-16]. Kridtlaget varierer i Danmark fra en tykkelse på 500 m til 2000 m.

Efter Kridttiden begyndte Tertiærtiden, der kan inddeltes i flere underperioder, og som går fra år 65 mio. til 2,5 mio. før nu. Danien, også kaldet Nedre Paleocæn, dækker fra 65-62 mio. år før nu og minder om Øvre Kridt, da Danien også består af forskellige slags kalksten og flint. Der er dog den forskel, at Danien også indeholder forstenede dyr, hvilket Øvre Kridt ikke gør. Selve tykkelsen af Danien varierer fra 100 m til lidt over 200 m. Paleocæn dækker fra 62-55 mio. år siden. Dette lag indeholder meget ler, hvilket giver sedimenttypen mergel, når kalken eroderes. Øverst i Paleocæn befinner sig et lag af kalkfrit ler. Tykkelsen af Paleocæn for Danmark er vidt forskellig, men størst tykkelse findes på Midtsjælland, hvor der er 160 m. Mellem Nedre Paleocæn og Paleocæn findes et lag af bjergarten grønsandskalk, der er kalkrig, sand- og glauconitholdig.

Eocæn startede for 55 mio. år siden og sluttede 38 mio. før nu. Skillet fra Paleocæn

og Eocæn består i et vulkanudbrud syd fra Norges sydkyst. Vulkanudbrudet afspejles i askelagene, som der findes 180 af, der tydeligt ses som mørke lag i det lyse moler, der består af ler og kiselskaller af encellede planter. Moleret er 50-60 m tyk for de vestlige egne af Limfjorden, mens den er 15 m tyk syd og sydøst for de vestlige egne af Limfjorden, og der er generelt meget tykke lag ler i det meste af Danmark [Larsen, 1999].

Kvartærtiden omfatter de sidste 2,5 mio. år tilbage og til nu og er kendtegnet ved store klimasvingninger mellem kolde og varme perioder. Weichselisen smelte bort fra 22.000 år siden, hvilket markerede starten af den Senglaciale periode. Da den Senglaciale periode ophørte, var det meste af Danmarks nuværende landskab over havet. Undtaget var det nordligste af Jylland, hvor de smelte gletcher skabte havstigning, som skyldede ind over området. Havet var et højarktisk ishav, som opstod da isen smelte, og har fået navnet Yoldiahavet. I den sydlige og sydvestlige del af Vendsyssel blev Yoldiahavet afgrænset mod et aflejringsområde, der formodes at have været en stor smeltevandssø, hvori en skalfri ler-aflejring opstod. Denne leraflejring kaldes også for Aalborg ler og er en blød ler, der danner grundlag for Aalborg Midtbys geologi, som kun er let konsolideret af isen, hvorunder kridtlaget ligger. Først for ca. 13.000 år siden trak Yoldiahavet sig tilbage, efter at have lagt ind over Nordjylland i godt 2.000 år. Yoldiahavet blev trukket tilbage, da landskabet hævede sig, efter at have været tyget af isen, der nu var smeltet bort [Larsen, 1999].

Der er fundet frem til at Aalborg har et jordunderlag bestående af Aalborgler, som kun er blevet let konsolideret af istiden. Det risikerer derfor at blive deformert og derfor er det ikke et bæredygtigt jordunderlag. Dette betyder at der skal anvendes pælefundering ned til lag af jord, som er bæredygtigt. Dette tages der dog ikke højde for, da der gerne vil arbejdes med direkte fundering i dette projekt, og vejleder har fundet boreprofiler fra Hals, som bliver beskrevet under. Dem laves der fundering ud fra.

### 9.3 Boreprofiler

I og med Aalborg har en undergrund primært bestående af Aalborgler, burde der anvendes pælefundering. Da der ønskes at arbejde med direkte fundering, tages der udgangspunkt i boreprofiler fra Hals, hvor undergrunden primært består af senglacialt sand, således det anvendte sand i forsøgene hænger sammen med de boreprofiler, som der ses på, da der ikke er sand i Aalborg Midtbys undergrund. Der ses på boring B17, som er vedlagt i Bilag XX.

På boreprofil 17 ses, at grundvandsspejlet ligger omkring 0,8 m under overfladen. Der aflæses også, at undergrunden primært består af sand for boreprofilen. Via den stiplede linje aflæses vandindholdet i jordlaget.

I boreprofil 16 i Bilag YY findes et lag gytje mellem kote 2 og 3. Det ses, at vandindholdet i gytje er højere, samtidig med at modstanden i jordlaget ikke er højt. Når der funderes, skal der tages højde for denne svaghed i gytje, hvor der i nogle tilfælde vælges at grave laget væk, hvis gytjen ikke ligger for langt nede. Da den valgte boreprofil 17 ikke indeholder et lag af gytje, kan projektgruppen med fordel lave en direkte fundering.



# Dimensionering af fundament 10

---

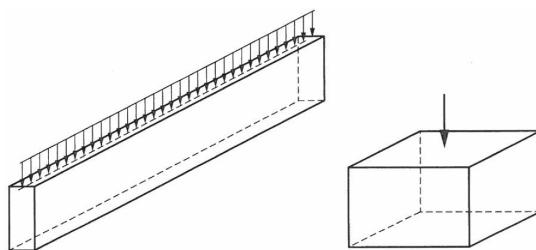
Nu hvor Aalborgs geologi er undersøgt og analyseret, kan der bestemmes en fundaments-type. I dette afsnit vil der blive fremlagt forsøg til videre beregninger af friktionsvinklen for sand, som er med til at bestemme fundamentsstørrelsen.

Metatekst

## 10.1 Fundering

Et fundament er en del af et bygværk, hvor formålet er at overføre belastningen fra bygningen til underliggende, bærende jordlag. Der findes mange forskellige funderingsmetoder, for eksempel pælefundering og direkte fundering, og kan i nogle tilfælde kombineres. De to mest almindelige funderingsmetoder er pæle- og direkte fundering, hvilke vil blive omtalt i denne rapport.

Ved direkte fundering støbes fundamentet direkte på terrænet, hvor de bæredygtige jordlag findes relativt tæt under bygningen. Belastningen overføres fra bygningen til jorden igennem vandrette flader. Belastningen på fundamentfladen udgøres af fundamentets egenvægt og bygningens belastning. Hvis belastningen virker på en lang fundamentflade med konstant bredde, er der tale om et stribefundament, der som regel bruges ved fundering af bærende vægge. Modsætningen hertil er punktfundamenter, som er rektangulære eller kvadratiske, og disse bruges for eksempel ved fundering af master, søjler og skorstene [Ovesen et al., 2014, s. 221]. Stribefundamentet og punktfundamentet er illustreret på Figur 10.1.



**Figur 10.1.** Stribefundament og punktfundament [Ovesen et al., 2014, s. 221]

Hvis de bæredygtige jordlag ligger mere end 4-5 meter under bygningen, anvendes ofte pælefundering. Ved pælefundering er søjleformede pæle af træ, beton, og/eller stål, rammet, presset, vibreret eller udstøbt i jorden. Pæleformen er normalt cylindrisk med cirkulært eller kvadratisk tværsnit. Pælefundering benyttes blandt andet når de bærende jordlag ligger så dybt, at direkte fundering vil blive uøkonomisk [Ovesen et al., 2014, s. 355].

Valg af funderingsmetode for tilbygningen til Strøybergs Palæ afhænger af jordbunds- og grundvandsforhold samt de belastninger, som konstruktionen er utsat for [Ovesen et al., 2014, s. 355]. Det er derfor nødvendigt at have kendskab til områdets geologi omkring Strøybergs Palæ, og at tolke på de boreprofiler, der bliver udført på stedet, hvilket gøres i Afsnit 8.4.

## 10.2 Forsøg

For at bestemme styrkeparametre for jorden udføres laboratorieforsøg, der bruges ved dimensionering af fundamentet. Forsøgene er udført på baskarpsand fra Sverige, hvilket antages at være sandet fra boreprofilerne.

Formålet med forsøgene er at bestemme friktionsvinklen, givet ved:

$$\varphi = 30^\circ - \frac{3}{U} + (14 - \frac{4}{U})I_D \quad (10.1)$$

- $U$ : Uensformighedstal
- $I_D$ : Relativ lejringstæthed

Friktionsvinklen  $\varphi$  er et mål for jords styrke, og skønnes ud fra sigteanalyse samt løs og fast lejring. Ved hjælp af nedenstående fire forsøg bestemmes friktionsvinklen, idet uensformighedstallet og den relative lejringstæthed bestemmes herudfra:

1. Vandindhold
2. Sigteanalyse
3. Kornvægtfylde
4. Løs og fast lejring

Tabeller over resultater, fremgangsmåde, apparaturliste samt fejlkilder for de enkelte forsøg findes i Bilag B-E.

### 10.2.1 Forsøg 1: Vandindhold

Formålet med forsøget er at finde vandindholdet  $w$  i jordprøven. Vandindholdet er defineret som jordens vægtab i % af tørvægten ved tørring i et varmeskab ved en temperatur på  $105^\circ\text{C}$ . For naturligt forekommende jordarter kan vandindholdet ligge mellem nul og flere hundrede procent.

Vandindholdet beregnes ved:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100\% = \frac{(W + sk) - (W_s + sk)}{(W_s + sk) - sk} \cdot 100\% \quad (10.2)$$

- $W_w$ : Vægten af vandet i prøven [g]
- $W_s$ : Vægten af det tørrede materiale [g]

- $W$ : Vægten af prøven før tørring [g]
- $sk$ : Vægten af skålen [g]

Forsøget er udført to gange. De fundne værdier for de to udførte forsøg ses i Tabel B.1 i Bilag B. Vandindholdet for de to forsøg er beregnet til:

$$\text{Forsøg } 1 : w = \frac{81,02\text{g} - 80,99\text{g}}{80,99\text{g} - 3,07\text{g}} \cdot 100\% = 0,04\% \quad (10.3)$$

$$\text{Forsøg } 2 : w = \frac{89,83\text{g} - 89,79\text{g}}{89,79\text{g} - 3,11\text{g}} \cdot 100\% = 0,05\% \quad (10.4)$$

Ud fra de opnåede resultater, kan det konkluderes, at det benyttede materiale vurderes at være tørt og det meget lille vandindhold har ikke indflydelse på de øvrige resultater.

Til videre beregninger benyttes gennemsnittet for vandindholdet for forsøg 1 og forsøg 2, som er  $0,04\%$ . Dette skal bruges som et rent tal, som er  $4 \cdot 10^4$ .

### 10.2.2 Forsøg 2: Sigteanalyse

Formålet med forsøget er at bestemme jordkornenes vægtmæssige fordeling efter størrelse i sand- og grusfraktion, for at beregne uensformighedstallet  $U$  for jorden:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (10.5)$$

- $d_{60}$ : 60%-fraktilen
- $d_{10}$ : 10%-fraktilen

Uensformighedstallet fortæller, hvor velsorteret jorden er:

- Velsorteret:  $U < 2$
- Sorteret:  $2 < U < 3,5$
- Ringe sorteret:  $3,5 < U < 7$
- Usorteret:  $U > 7$

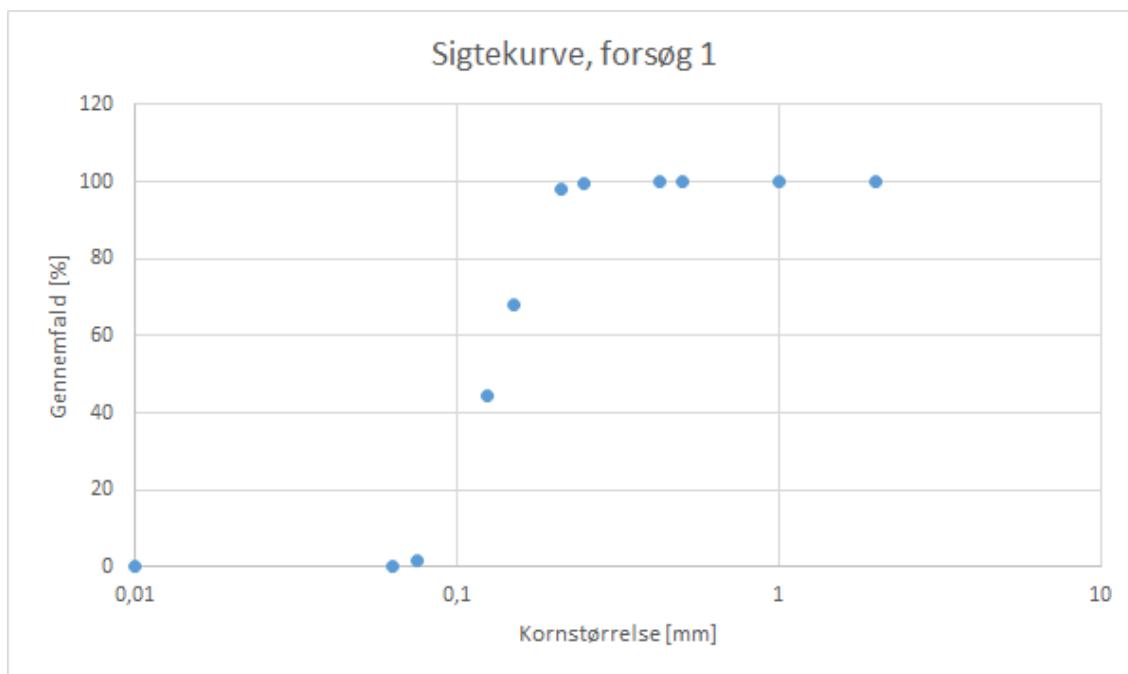
Forsøget er udført to gange, og der er derfor lavet en sigtekurve for hvert forsøg, og uensformighedstallet er udregnet for begge forsøg.

Det procentvise gennemfald i hver sigte er beregnet, og herudfra fås sigtekurverne vist på Figur 10.2 og Figur 10.3. Værdierne der er brugt til at finde det procentvise gennemfald på Figur C.1 og Figur C.2 i Bilag C.

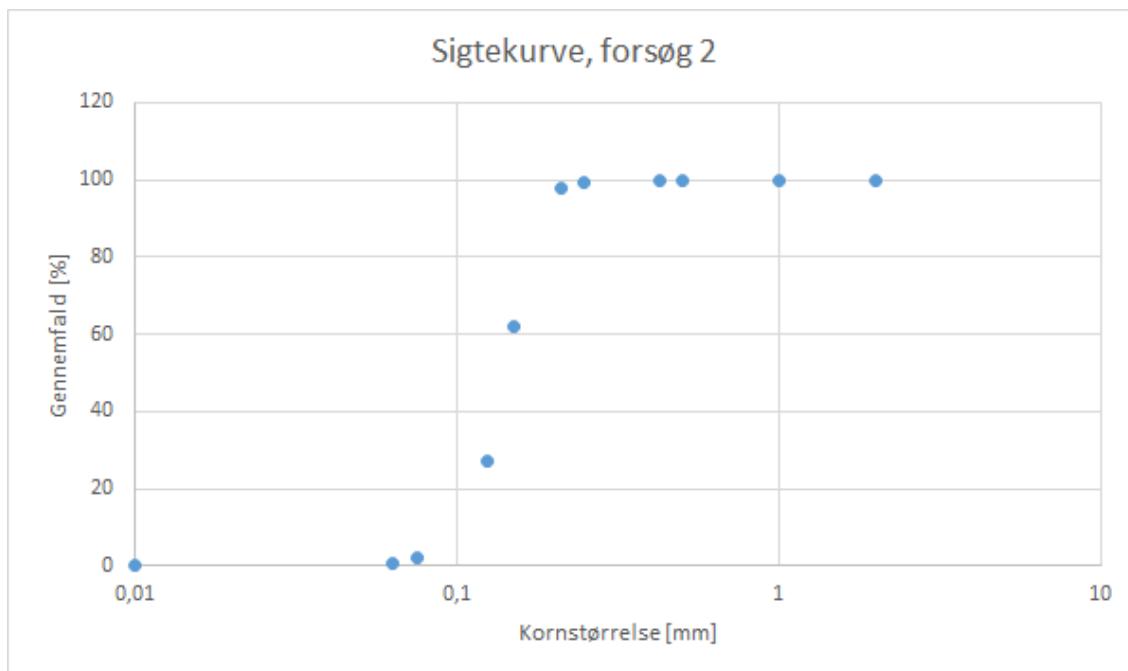
Uensformighedstallet for begge forsøg er beregnet, ved at lave lineær regression imellem henholdsvis 10% og 60% og derved finde 10%-fraktilen og 60%-fraktilen.

Ved det første udførte forsøg er 10%-fraktilen fundet ved at lave lineær regression imellem sigte med maskestørrelse 0,075 mm og 0,125 mm, hvor følgende ligning fremgår:

$$y_{10} = 862,42x - 63,223 \quad (10.6)$$



*Figur 10.2.* Sigtekurve til forsøg 1



*Figur 10.3.* Sigtekurve til forsøg 2

For at finde 60%-fraktilen er der lavet lineær regression imellem sigte med maskestørrelse 0,125 mm og 0,15 mm, hvor følgende ligning fremgår:

$$y_{60} = 937,12x - 72,56 \quad (10.7)$$

Ved forsøg 1 er 10%-fraktilen og 60%-fraktilen hermed beregnet til:

$$d_{10} = 0,08 \text{ mm} \quad (10.8)$$

$$d_{60} = 0,14 \text{ mm} \quad (10.9)$$

Uensformighedstallet i forsøg 1 er derved:

$$U = \frac{0,14}{0,08} = 1,67 \quad (10.10)$$

Ved forsøg 2 er 10%-fraktilen, 60%-fraktilen og uensformighedstallet beregnet til:

$$d_{10} = 0,91 \log d_{60} = 0,15 \text{ og } U = \frac{0,15}{0,91} = 1,64 \quad (10.11)$$

Uddybbende beregninger er vist i Bilag C.

Til videre beregninger benyttes gennemsnittet af uensformighedstallet for forsøg 1 og forsøg 2, som er 1,65. Dette tal fortæller, at jorden er velsorteret, idet  $U < 2$ . Dette stemmer godt overens med de observationer der forinden forsøget var gjort af sandet, hvor blev vurderet til at være ens- og afrundede korn.

### 10.2.3 Forsøg 3: Kornvægtfylde

Formålet med forsøget er at finde den relative densitet  $d_s$ , også kaldet kornvægtfylden, for jordprøven. For jordarter uden organisk indhold kan kornvægtfylden variere fra 2,65 for rent kvartsand til 2,85 for visse lermineraler. I dette forsøg søges altså et resultat der ligger så tæt på 2,65 som muligt.

Kornvægtfylden beregnes ved:

$$d_s = \frac{W_s \rho_w^t}{(W_s + W_2 - W_1) \rho_w^{4^\circ}} \quad (10.12)$$

- $W_s$ : Vægten af tørt kornmateriale [g]
- $\rho_w^t$ : Densitet af luftfrit demineraliseret vand ved målte temperatur [ $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ]
- $W_2$ : Vægten af pyknometeret fyldt med luftfrit demineraliseret vand [g]
- $W_1$ : Vægten af pyknometer fyldt med prøve og luftfrit demineraliseret vand [g]
- $\rho_w^{4^\circ}$ : Densitet af luftfrit demineraliseret vand ved  $4^\circ$ , som er  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Forsøget er udført to gange, og resultater for de to forsøg kan ses i Tabel D.1 Bilag D. Kornvægtfylden for de to forsøg er beregnet til:

$$\text{Forsøg } 1 : d_s = \frac{161,27\text{g} \cdot 0,998 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{(161,27\text{g} + 641,16\text{g} - 728,89\text{g}) \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 2,19 \quad (10.13)$$

$$\text{Forsøg } 2 : d_s = \frac{150,06\text{g} \cdot 0,998 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{(150,06\text{g} + 615,97\text{g} - 709,40\text{g}) \cdot 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 2,64 \quad (10.14)$$

Resultatet fra forsøg 2 anvendes til videre beregninger, fordi resultatet fra forsøg 1 vurderes til at være for langt fra den ønskede værdi på 2,65. Grunden til den store afvigelse kan skyldes, at der blev anvendt ca. 161 g i forhold til, at der kun skulle være anvendt 150 g.

#### 10.2.4 Forsøg 4: Løs og fast lejring

Formålet med forsøget er at finde jordens relative lejringstæthed  $I_D$ . Lejringstætheden er et tal, som vokser fra 0 til 1, når lejringstætheden varierer fra den løseste til den fasteste lejring.

$I_D$  bestemmes ved:

$$I_D = \frac{e_{max} - e_{insitu}}{e_{max} - e_{min}} \quad (10.15)$$

- $e_{min}$ : Jordens gennemsnitlige poretal for den fasteste lejring
- $e_{max}$ : Jordens gennemsnitlige poretal for den løseste lejring
- $e_{insitu}$ : Jordens naturlige poretal

Poretallet  $e$ , for henholdsvis den løseste og fasteste lejring beregnes ved:

$$e = \frac{d_s \rho_w V}{W_s} - 1 \quad (10.16)$$

- $d_s$ : Kornvægtfylde [rent tal], som er fundet i forsøg 3: Kornvægtfylde, til 2,64
- $\rho_w$ : Vands densitet på  $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
- $V$ : Volumen af materialet [ $\text{cm}^3$ ]
- $W_s$ : Vægten af tørt kornmateriale [g]

Der er udført fire forsøg for henholdsvis den løseste og den fasteste lejring. Resultater samt poretallet for hvert enkelt forsøg ses i Tabel E.1 og Tabel E.2 i Bilag E. Det gennemsnitlige poretal er:

$$e_{min} = \frac{0,595 + 0,571 + 0,573 + 0,569}{4} = 0,577 \quad (10.17)$$

$$e_{max} = \frac{0,873 + 0,875 + 0,874 + 0,873}{4} = 0,874 \quad (10.18)$$

Herefter bestemmes jordens naturlige poretal  $e_{in situ}$  ved:

$$e_{in situ} = (1 + w) \frac{d_s \rho_w V}{W_s} - 1 \quad (10.19)$$

- w: Det naturlige vandindhold [rent tal], fra forsøg 1: Vandindhold, til 0,0004

Dette er beregnet til:

$$e_{in situ} = (1 + 0,0004) \cdot \frac{2,64 \cdot 1,00 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 269,39 \text{cm}^3}{421,4 \text{g}} - 1 = 0,691 \quad (10.20)$$

Slutteligt kan den relative lejringstæthed  $I_D$  bestemmes til:

$$I_D = \frac{0,874 - 0,691}{0,874 - 0,577} = 0,617 \quad (10.21)$$

### 10.2.5 Beregning af friktionsvinkel

Efter udførelsen af de fire forsøg kan friktionsvinklen beregnes til:

$$\varphi = 30^\circ - \frac{3}{1,65} + (14 - \frac{4}{1,65}) \cdot 0,619 = 35,3^\circ \quad (10.22)$$

I Figur 10.4 ses det, at der kan trækkes henholdsvis 3 eller 5 grader fra friktionsvinklen eller lægges 1 eller 2 grader til friktionsvinkel, alt efter jordens type. Baskarpsandkornene er vurderet til at være afrundede, og derfor trækkes der 3 grader fra den friktionsvinkel, som er fundet ovenfor, og der fås en friktionsvinkel på  $32,3^\circ$ .

Friktionsvinklen sammenlignes med værdierne fra Figur 10.4. Der aflæses ud fra de  $32^\circ$ , hvor graderingen aflæses som værende enskornet, og lejringstætheden aflæses som værende middel. Hvilket vurderes til at passe med, at det anvendte sand blev vurderet til at være enskornet.

<b>Lejringstæhed</b>	<b>Løs</b>	<b>Middel</b>	<b>Fast</b>
<b>Gradering</b>			
<b>Enskornet</b>	<b><math>27^\circ</math></b>	<b><math>32^\circ</math></b>	<b><math>37^\circ</math></b>
<b>Middel</b>	<b><math>29^\circ</math></b>	<b><math>35^\circ</math></b>	<b><math>41^\circ</math></b>
<b>Uenskornet</b>	<b><math>30^\circ</math></b>	<b><math>37^\circ</math></b>	<b><math>44^\circ</math></b>
<b>Tillæg for :</b>	<b>Fint grus :</b>	<b><math>1^\circ</math></b>	
	<b>Groft grus :</b>	<b><math>2^\circ</math></b>	
<b>Fradrag for :</b>	<b>Afrundede korn :</b>	<b><math>3^\circ</math></b>	
	<b>Meget runde korn :</b>	<b><math>5^\circ</math></b>	

**Figur 10.4.** Friktionsvinkel [Ovesen et al., 2014, s. 170]

### 10.3 Bæreevne for fundamentet

Til bestemmelse af bæreevnen af fundamentet benyttes formlen:

$$\frac{R}{A} = \frac{1}{2} \gamma b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma + q' N_q s_q i_q d_q + c' N_c s_c i_c d_c \quad (10.23)$$

Der beregnes ikke kohæsion, fordi den der næsten ingen kohæsion er imellem sandkornene og dermed betragtes som værende 0. Derfor medregnes  $c' N_c s_c i_c d_c$  -leddet ikke.

- $R$ : Effektiv lodret bæreevne
- $A$ : Effektiv areal
- $\gamma$ : Rumvægt for sand - vand, som sættes til  $20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
- $b'$ : Effektive bredde
- $N_\gamma$  og  $N_q$ : Bæreevnefaktor
- $s_\gamma$  og  $s_q$ : Formfaktor
- $i_\gamma$  og  $i_q$ : Hældningsfaktor
- $q'$ : Effektiv lodret overlejringstryk ved FUK
- $d_q$ : Dybdefaktor

Alle værdier pånær  $b'$  kan bestemmes, således  $b'$  til sidst kan bestemmes.

I og med der intet moment er i understøtningen, er hele bredden af fundamentet effektiv og dermed ikke excentrisk. Fra resultanten af alle lodrette kræfter i fundamentunderkanten,  $V$ , fås en belastning, og for at fundamentet kan holde, skal  $R$  mindst være lige så stor som  $V$ .

Da det ikke altid kan sikres, at jorden ved siden af fundamentet forbliver intakt, ses der normalt bort fra dybdefaktoren, og sættes  $d_q$  til 1.

Arealet kan bestemmes, når det antages for at være kvadratisk, og da der intet moment er i understøtningen er  $b' = b$  og arealet er givet ved  $A = b^2$ .

Formfaktorerne bestemmes:

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{b'}{l'} = 1 - 0,4 \frac{b'}{b'} = 1 - 0,4 = 0,6 \quad (10.24)$$

$$s_q = 1 + 0,2 \frac{b'}{l'} = 1 + 0,2 \frac{b'}{b'} = 1 + 0,2 = 1,2 \quad (10.25)$$

Hældningsfaktoren,  $i_q$ , beregnes ved:

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A c' \cot(\varphi)} \right)^2 \quad (10.26)$$

- $H$ : Resultanten for alle vandrette kræfter i fundamentunderkanten, FUK, som sættes til 133,08 kN
- $V$ : Resultanten for alle lodrette kræfter i fundamentunderkanten, FUK, som sættes til 535,17 kN

Da  $c'$  ikke anvendes i dette projekt, sættes denne lig 0 og formlen bliver da:

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^2 \quad (10.27)$$

Herved kan  $i_q$  bestemmes:

$$i_q = \left(1 - \frac{133,08\text{kN}}{535,17\text{kN}}\right)^2 = 0,56 \quad (10.28)$$

Hældningsfaktoren,  $i_\gamma$ , bestemmes:

$$i_\gamma = i_q^2 = (0,56)^2 = 0,32 \quad (10.29)$$

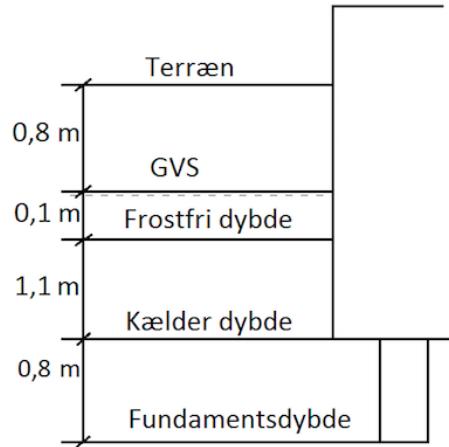
Det lodrette overlejringstryk ved FUK,  $q$ , bestemmes, når fundamentet antages at have en højde på 0,8 m (se Figur 10.5) og der kun regnes for  $q_{ude}$ , ved:

$$q = h_1\gamma + h_2(\gamma_{sand} - \gamma_{vand}) \quad (10.30)$$

- $h_1$ : Længden ned til grundvandsspejlingen, som er 0,8 m
- $\gamma$ : Henholdsvis rumvægten for sand og vand
- $h_2$ : Længden fra grundvandsspejlingen ned til fundamentunderkanten, FUK som er 2,8 m

$q$  bestemmes:

$$q = 0,8\text{m} \cdot 20\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 2\text{m}(20\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - 10\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}) = 36,00\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (10.31)$$



**Figur 10.5.** Fundament

Bæreevnefaktorerne bestemmes, når friktionsvinklen  $\varphi = 32,33$ :

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} = e^{\pi \tan(32,33)} \frac{1 + \sin(32,33)}{1 - \sin(32,33)} = 24,08 \quad (10.32)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{4}((N_q - 1) \cos(\varphi))^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{4}((24,08 - 1) \cos(32,33))^{\frac{3}{2}} = 21,54 \quad (10.33)$$

Bredden  $b' = b$  kan nu bestemmes:

$$\begin{aligned} \frac{R}{A} &= \frac{1}{2} \gamma b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma + q' N_q s_q i_q d_q \leftrightarrow \frac{V}{b^2} = \frac{1}{2} \gamma b' N_\gamma s_\gamma i_\gamma + q' N_q s_q i_q d_q \\ \leftrightarrow \frac{535,17 \text{kN}}{b^2} &= \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot b \cdot 21,54 \cdot 0,6 \cdot 0,3186610841 + 36,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 24,08 \cdot 1,2 \cdot 0,56 \cdot 1) = 0,94 \text{m} \end{aligned} \quad (10.34)$$

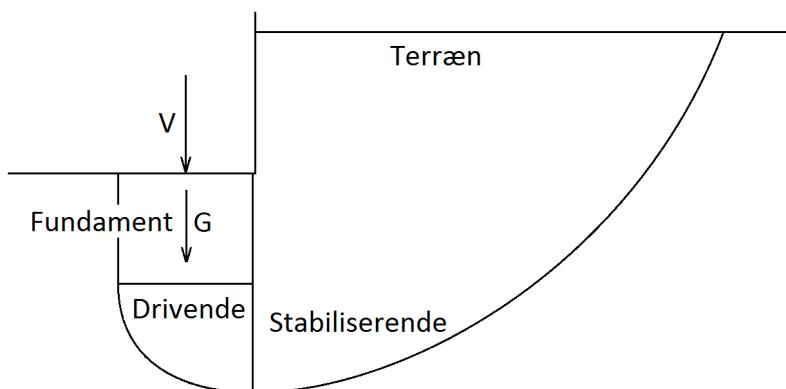
Dermed skal alle fire sider på fundamentet være 0,94 m hver.

Efter bredden af fundamentet er bestemt, bør der ses på anvendelses- og brudgrænser, for at sikre mod eventuelle deformationer og brud. Anvendelsesgrænsen anvendes, når der kigges på stivhedsgraden i jorden. Hvis jordens stivhed ikke er tilstrækkelig, risikerer fundamentet at sætte sig uhensigtsmæssigt. Det skal sikres, at fundamentet passer med konstruktionens formål, men dette afhænger af bygherrrens ønske.

Stivheden af jorden testes ved at lægge tryk på jorden, og herudfra lave en arbejdskurve, hvor der undersøges stivheden af jorden.

Når jord påvirkes af en vertikal kraft, komprimeres jorden lodret, indtil det ikke kan op holdes og derfor skubber ud ad i en brudform. Brudgrænsetilstanden regnes for at se, om jorden kan holde til belastningen fra bygningen. Dette bestemmes via brudanalyse, hvor jordtrykket, der vil skubbe med reaktionen, skal være mindre end jordtrykket, som skubber mod reaktionen. Disse kaldes henholdsvis den drivende- og den stabiliserende kraft. Brudformen afhænger af materialet. For sand er friktionsvinklen afgørende, og for ler er kohæsionen afgørende for styrken. Ler er mere afrundede cirkel, mens spiralerne for sand er fladere.

På Figur 10.6 ses et eksempel for sand, hvilket viser, hvordan scenariet udspiller sig for sandets spiral. For at bestemme den stabiliserende kraft, opdeles sandet i geometriske områder. På den drivende del bliver fundamentet og dens vægt lagt sammen med vægten af sand samt den vertikale kraft. Den stabiliserende kraft skal være større end den drivende kraft, for at der ikke opstår brud. Der laves brudformer rundt om alle punkter, for at sikre mod brudtilfælde.



**Figur 10.6.** Spiral

## 10.4 Delkonklussion

Aalborgs geologi er analyseret i denne rapport. Selvom jorden i Aalborg primært består af Aalborgler arbejdes der med boreprofiler fra Hals/Hou, da disse hovedsageligt består af sand. Dette giver mulighed for at benytte direkte fundering. I et laboratorium er der udført fire forsøg med baskapsand fra Sverige, som antages at være sand fra Hals/Hou området, så disse stemmer overens med boreprofilerne. Formålet med de fire forsøg er, at skønne friktionsvinklen, som er  $32,33^\circ$ . Der ønskes at lave et punktfundament for hver søjle, som skønnes til at være XX m i både bredden og længden, for at fundamentet har tilstrækkelig bæreevne.



# Konklusion 11

---



# Litteratur

---

- Aalborg, 2014a.** Business Aalborg. *Bedre Overblik, Temperaturmåling på erhvervslivet i Aalborg.* <http://www aalborg.dk/media/676544/BEDRE-Overblik-nr-1-2014.pdf>, 2014. Downloadet: 08.03.2015.
- Aalborg, 2014b.** Business Aalborg. *Ungdommens Aalborg.* <http://www aalborg.dk>, 2014. Downloadet: 08.03.2015.
- Aalborg.** Kulturbro Aalborg. *Formål med kulturbro-Aalborg.* <http://www.kulturbroaalborg.dk>. Downloadet: 25.02.2015.
- Aalborg Kommune, 23.11.2009.** Aalborg Kommune. *Bilag.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 23.11.2009. Downloadet: 24.03.2015.
- Aalborg Kommune, 25.11.2013a.** Aalborg Kommune. *Om Kommuneplanen.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 25.02.2015.
- Aalborg Kommune, 31.12.2006a.** Aalborg Kommune. *Planredegørelse.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 31.12.2006. Downloadet: 24.03.2015.
- Aalborg Kommune, 31.12.2006b.** Aalborg Kommune. *Kommuneplanrammer.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 31.12.2006. Downloadet: 24.03.2015.
- Aalborg Kommune, 25.11.2013b.** Aalborg Kommune. *Retningslinjer.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 24.03.2015.
- A/S, 2008.** Calum A/S. *Investeringsejendomme.* <http://www.calum.dk/>, 2008. Downloadet: 05-03-2015.
- A/S et al., 2009.** Niras Konsulenterne A/S, Mette Glarborg Bahrenscheer, Kirstine Iversen, Peer Frank og Peter Frost-Møller. *Brug Havnen, Industrihavnens kulturarr.* ISBN: 978-87-91298-09-7, Handbook. Kulturarvsstyrelsen, 2009.
- Berthelsen, 1987.** Ole Berthelsen. *Geologi i Aalborgområdet.* ISBN: 87-421-0752-0, Handbook. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1987.
- Brandt.** Erik Brandt. *Gulvopbygning - terminologi.* <http://www.gulvfakta.dk/gulvbelægninger/valg-af-gulv.aspx>. Downloadet: 05-05-2015.
- Byggeri.** Dansk Byggeri. *Hvor går grænsen?* *Tømrer/træelementer/snæder/gulv/glas-lufacader.* <http://www.danskbyggeri.dk>. Downloadet: 04-05-2015.
- Clement og Andersen, 2014.** Karen Clement og Thomas Nørgaard Andersen. *Rekordmange optaget på videregående uddannelser - hver fjerde får afslag.* <http://www.b.dk/nationalt/>

rekordmange-optaget-paa-videregaaende-uddannelser-hver-fjerde-faar-afslag, 2014. Downloadet: 24-03-2015.

**Dansk Center for Byhistorie.** a Dansk Center for Byhistorie. *Danske Købstæder: Aalborg.* <http://byhistorie.inet-designer.dk/>. Downloadet: 07.03.2015.

**Dansk Center for Byhistorie, b.** Dansk Center for Byhistorie, b. *Danske Købstæder: Aalborg - Historiske Befolkningsstal.* <http://byhistorie.inet-designer.dk/>. Downloadet: 07.03.2015.

**Danske, 2014.** Redaktionen Den Store Danske. *Aalborg historie.*

[http://www.denstoredanske.dk/Danmarks\\_geografi\\_og\\_historie/Danmarks\\_geografi/Jylland/Jylland\\_-\\_byer/Aalborg/Aalborg\\_\(Historie\)](http://www.denstoredanske.dk/Danmarks_geografi_og_historie/Danmarks_geografi/Jylland/Jylland_-_byer/Aalborg/Aalborg_(Historie)), 2014. Downloadet: 25.03.2015.

**DS/EN-1991, 2014.** DS/EN-1991. *Forkortet udgave af Eurocode 1 - Last på bærende konstruktioner.* ISBN: 978-87-7310-882-6, 2. udgave, 1. oplag. Fonden Dansk Standard, 2014.

**Forvaltning, 1908-2015.** Aalborg Kommunes Tekniske Forvaltning. *Nyhavnsgade 9-11.* Byggesagsarkiv, 1908-2015.

**Gulvfakta.** Gulvfakta. *Bærende gulve.* gulvfakta.dk.

**Hansen, 1999.** Bent Hansen. *Geotekniske problemer.*

<http://2dgvf.dk/xpdf/gt1999-2-1-6.pdf>, 1999. Downloadet: 25-04-2015.

**Home, 2014.** Home. *Aalborg: Studiebolig med landets billigste 'husleje'.*

<http://www.home.dk>, 2014. Downloadet: 26-03-2015.

**Jensen, 2013.** Bjarne Chr. Jensen. *Teknisk Ståbi.* ISBN: 978-87-571-2775-1, 22. udgave. Nyt Teknisk Forlag, 2013.

**Johansen og Mathiasen, 2004.** Mette Johansen og Line Mathiasen. *Byomdannelse på Aalborg Østre Havn, Kampen om fremtiden.* Handbook. Aalborg Universitet, 2004.

**Junker.** Flemming Junker. *Rekordmange nye virksomheder i Aalborg.*

<http://nordjyske.dk/artikel/rekordmange-nye-virksomheder-i-aalborg-300147e6-7380-429c-b37f-ec782b15de9a/112/1201>. Downloadet: 20-03-2015.

**Kommune, 21.11.2012.** Aalborg Kommune. *Alternativ rutenet i forbindelse med letbanen 1. etape.* <http://www aalborgletbane.dk>, 21.11.2012. Downloadet: 26-03-2015.

**Kommune, 25.11.2013a.** Aalborg Kommune. *Byerne - et godt sted at bo hele livet.* <http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 24.03.2015.

**Kommune, a.** Aalborg Kommune. *Eternittens omdannelse.* <http://www aalborg.dk>. Downloadet: 25.02.2015.

**Kommune, August 2006.** Aalborg Kommune. *Lokalplan 10-082.*

<http://www aalborgkommune.dk>, August 2006. Downloadet: 27.02.2015.

**Kommune, b.** *Aalborg Kommune.*

**Kommune, 25.11.2013b.** Aalborg Kommune. *Aalborg - den attraktive storby.*  
<http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 25.02.2015.

**Kommune, 25.11.2013c.** Aalborg Kommune. *Det åbne land.*  
<http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 24.03.2015.

**Kommune, Oktober 2012.** Aalborg Kommune. *Lokalplan 1-1-107.*  
<http://www aalborgkommune.dk>, Oktober 2012. Downloadet: 25.02.2015.

**Kommune, 25.11.2013d.** Aalborg Kommune. *Nødvendige forbindelser - mobilitet.*  
<http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 24.03.2015.

**Kommune, 25.11.2013e.** Aalborg Kommune. *Bæredygtighedprofil.*  
<http://www aalborgkommuneplan.dk>, 25.11.2013. Downloadet: 24.03.2015.

**Kommune, c.** Vesthimmerlands Kommune. *Kommuneplantillæg.*  
<http://www.vesthimmerland.odeum.com>. Downloadet: 25.02.2015.

**Kulturstyrelsen, a.** Kulturstyrelsen. *Hvad er bevaringsværdi?*  
<http://www.kulturarv.dk>. Downloadet: 27.02.2015.

**Kulturstyrelsen, b.** Kulturstyrelsen. *Bygning: Gammel Havn 1.*  
<http://www.kulturarv.dk>. Downloadet: 24-04-2015.

**Kulturstyrelsen, c.** Kulturstyrelsen. *Bygning: Nyhavnsgade 9.*  
<http://www.kulturarv.dk>. Downloadet: 24-04-2015.

**Landsforening, 05.05.2014.** Kommunernes Landsforening. *Aalborg ønsker bedre image.*  
<http://www.kl.dk>, 05.05.2014. Downloadet: 26-03-2015.

**Larsen, 1999.** Gunnar Larsen. *Træk af Danmarks geologi.* ISBN: 87-9330-58-2-4, PDF.  
Dansk Geoteknisk Forening, 1999.

**Miljøministeriet, a.** Miljøministeriet. *Jordartsbestemmelse.*  
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2001/87-7944-818-6/html/kap02.htm>.  
Downloadet: 01-05-2015.

**Miljøministeriet, b.** Miljøministeriet. *Kortlægning og områdeklassificering.*  
<http://www.mst.dk>. Downloadet: 27.02.2015.

**Ovesen et al., 2014.** Niels Krebs Ovesen, Leif D. Fuglsang, Gunnar Bagge og Anette Krogsbøll. *Lærebog i Geoteknik.* ISBN: 978-87-502-1042-9, 2. udgave, 2. oplag.  
Polyteknisk Forlag, 2014.

**Redaktionen.** Redaktionen. *Danmark - Geologi.*  
[http://www.denstoredanske.dk/It,\\_teknik\\_og\\_naturvidenskab/Geologi\\_og\\_kartografi/Danmarks\\_geologi/Danmark\\_-\\_geologi](http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Danmarks_geologi/Danmark_-_geologi). Downloadet: 18-05-2015.

**Schouenborg, 08.09.2014.** Jesper Schouenborg. *Byråd vil have sporvogne i Aalborg.*  
<http://www.nordjyske.dk>, 08.09.2014. Downloadet: 26-03-2015.

**Spærfabrik, 01-07-2013.** Ringsted Spærfabrik. *Konstruktioner.*

<http://www.ringstedspær.dk>, 01-07-2013. Downloadet: 04-05-2015.

**Statistik, a.** Danmarks Statistik. *Kommuner på landkortet.* dst.dk.

**Statistik, b.** Danmarks Statistik. *Danmarks Statistik befolknings tal Aalborg 2008-2015.*

<http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/selectvarval/saveselections.asp>.  
Downloadet: 20-03-2015.

**Thorsen, 1998.** Grete Thorsen. *Danske jordarter og deres egenskaber.* PDF, 1998.

**Træteknik.** Teknologisk Institut Træteknik. *Skovfyre.* <http://www.trae.dk>.

Downloadet: 04-05-2015.

**Universitet.** Aalborg Universitet. *Campus Aalborg.* <http://www.sict.aau.dk>.

Downloadet: 25.02.2015.

**Universitet, 2013.** Aalborg Universitet. *Fakta 2013.* <http://www.aau.dk>, 2013.

Downloadet: 26-03-2015.

**Vejdirektoratet, 2011.** Vejdirektoratet. *3. Limfjordsforbindelse.*

<http://www.vejdirektoratet.dk/DA/vejprojekter/limfjorden/Documents/H%C3%8B8ringsnotat%203.%20Limfjordsforbindelse.pdf>, 2011. Downloadet: 24-03-2015.

**VisitAalborg, a.** VisitAalborg. *Jomfru Ane Parken.* <http://www.visitaalborg.dk>.

Downloadet: 25.02.2015.

**VisitAalborg, b.** VisitAalborg. *Karolinelund.* <http://www.visitaalborg.dk>.

Downloadet: 25.02.2015.

**VisitAalborg, c.** VisitAalborg. *Musikkens Hus.* <http://www.visitaalborg.dk>.

Downloadet: 25.02.2015.

**Øhrstrøm og Washuus, 2014.** Daniel Øhrstrøm og Dorte Washuus. *Smukke*

*Studieboliger er en succes.* Kristeligt dagblad, page 1, 2014.

# Beregning af peakhastighedstrykket A

---

Nedenfor gives et beregningseksempel for beregning af  $q_p$  for taget med vindretning fra vest. Fremgangsmåden for vindretningerne øst og nord er identisk med nedenstående eksempel, blot med andre værdier fra de samme kilder som anvendes i eksemplet, da vindretning og højden ændres.

Den maksimale belastning fra vinden, peakhastighedstrykket  $q_p$ , bestemmes ved:

$$q_p(z_e) = [1 + 7I_v(z_e)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z_e) \quad (\text{A.1})$$

- $I_v$ : vindturbulens
- $\rho$ : densiteten for luft ved  $20^\circ$ ,  $1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $v_m$ : middelvindhastigheden

For at bestemme peakhastigheden, beregnes først vindturbulens  $I_v(z)$  samt middelvindhastigheden  $v_m$ .

Vindturbulens,  $I_v(z)$ , bestemmes ved:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(\frac{z}{z_0})} \quad (\text{A.2})$$

- $k_1$ : turbulensfaktor, sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 4.4]
- $c_0(z)$ : orografifaktoren, som sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 4.3.1]
- $z$ : højden, som med taget er 19 m
- $z_0$ : ruhedslængde, som sættes til 1,0 for terrænkategori IV [DS/EN-1991, 2014, tabel 4.1 kapitel 4.3.2]

Vindturbulensen bestemmes til:

$$I_v(z) = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(\frac{19}{1,0})} = 0,34 \quad (\text{A.3})$$

Middelvindhastigheden,  $v_m$ , bestemmes ved:

$$v_m(z) = c_r(z)c_0(z)v_b \quad (\text{A.4})$$

- $c_r(z)$ : ruhedsfaktor
- $v_b$ : basisvindhastigheden

Til at bestemme middelvindhastigheden, beregnes basisvindhastigheden samt ruhedsfaktoren.

Basisvindhastigheden,  $v_b$ , bestemmes ved:

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} \quad (\text{A.5})$$

- $c_{dir}$ : retningsfaktor, som sættes til 1,0 ved vind fra vest [DS/EN-1991, 2014, tabel 1a kapitel 4.2]
- $c_{season}$ : årstidsfaktor, som sættes til 1,0 [DS/EN-1991, 2014, tabel 1b kapitel 4.2]
- $v_{b,0}$ : grundværdi for basisvindhastigheden, som sættes til  $24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  [DS/EN-1991, 2014, kapitel 4.2]

Basisvindhastigheden bestemmes til:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 24 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.6})$$

Ruhedsfaktor,  $c_r(z)$ , bestemmes ved:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{A.7})$$

- $k_r$ : terrænfaktor

Terrænfaktoren,  $k_r$ , bestemmes ved:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (\text{A.8})$$

- $z_{0,II}$ : værdi for ruhedslængde for terrænkategori II, som sættes til 0,05 [DS/EN-1991, 2014, kapitel 4.3.2]

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234 \quad (\text{A.9})$$

Ruhedsfaktor bestemmes til:

$$c_r(z) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{19}{1,0}\right) = 0,690 \quad (\text{A.10})$$

Middelvindhastigheden bestemmes til:

$$v_m(z) = 0,690 \cdot 1,0 \cdot 24 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 16,569 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.11})$$

Peakhastighedstrykket  $q_p$  i højden  $z$ , bestemmes til:

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot 0,340] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (16,569 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 0,579 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{A.12})$$

# Forsøg: Vandindhold

B

## Apparaturliste

- Vægt med vejenøjagtighed 0,01 g
- Skål i varme- og korrosionsbestandigt materiale
- Tørreskab med temperatur til 105°C

## Fremgangsmåde

Først findes en ren og tør foliebakke som vejes, og vægten noteres som  $sk$ . Efterfølgende udtages en passende mængde jord, jf. ovenstående tabel. Dette anbringes i foliebakken, og det hele vejes omgående sammen, og noteres som  $W+sk$ .

Foliebakken anbringes nu i tørreskabet ved 105°C, og tørres fra fredag til mandag (normalt tørres det i 24 timer, da konstant vægt normalt er opnået efter dette tidsrum, hvilket også gøres her). Efter tørringen sættes foliebakken til afkøling i vacuumekssikator til rumtemperatur er opnået. Den afkølede foliebakke med den nu tørre jordprøve vejes  $W_s + sk$ .

## Resultater

Nr.	$W + sk$	$W_s + sk$	$sk$	$W_w$	$W_s$	$W$
	[g]	[g]	[g]	[g]	( $W + sk$ ) - ( $W_s + sk$ )	( $W_s + sk$ ) - $sk$
1	81,02	80,99	3,07	0,03	77,92	0,04
2	89,83	89,79	3,11	0,04	86,68	0,05

Tabel B.1. Resultater for vandindhold

## Fejlkilder

Forskelligheden i de to prøveforsøg kan skyldes brugen af to forskellige vægte med forskellige størrelse usikkerheder. Andre fejlkilder er, at størrelserne på prøverne er forskellige, vægten  $W + sk$  har en difference på 8,81 g, samt der ikke er taget højde for tabel 1, så mængden af prøvemateriale sker ud fra anbefaling.



# Forsøg: Sigteanalyse

C

## Apparaturliste

- Sigter med mindst maskevidde på 0,063 mm
- Rystemaskine
- Vægt med vejenøjagtighed på 0,01 g
- Sigtebørste
- Skåle i korrosion bestandigt materiale

## Fremgangsmåde

Ved en sigteanalyse kan der både udføres en grovsigtning og en finsigtning. Grovsigtningen udføres, hvis materialet vurderes til at have partikler over 16 mm. I dette forsøg er der kun udført en finsigtning, da partiklerne vurderes til at være mindre end 16 mm. Sigtningen er udført på sigter fra 0,063 mm til 2 mm (sigtemålene kan ses i tabellen over resultaterne).

Først rengøres hver enkelt sigte forsigtigt med en sigtebørste, og herefter samles sigterne fra den største maskevidde øverst til bunden nederst. Det afmålte materiale hældes på sigten med den største maskevidde på 2 mm, hvorefter sigtetårnet placeres i rystemaskinen, og sigtes i 20 minutter.

Sigteresterne i hver enkelt sigte overføres til skål og vejes. Hver sigte placeres med bunnen op ad på et stort stykke papir, og der fejes let på bagsiden, således at materialet, der sidder fast i maskerne, løsnes.

Alle resultaterne skrives ind i nedenstående skema, hvorefter det procentvise gennemfald i hver sigte beregnes ved  $gennemfald[\%] = \frac{gennemfald[g]}{\text{samlet prøve}[g]} \cdot 100\%.$  Herefter optegnes en sigtekurve over resultaterne med det procentvise gennemfald af y-aksen i aritmisk skala, og kornstørrelse af x-aksen i logaritmisk skala. Herpå aflæses de to punkter der ligger mellem henholdsvis 10% og 60%, og der laves lineær regression imellem de to punkter. Herudfra kan 10%-fraktilen,  $d_{10}$ , og 60%-fraktilen,  $d_{60}$ , beregnes. Disse bruges til at udregne uensformighedstallet  $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

## Resultater

Forsøget er udført to gange. I Figur C.1 og Figur C.2 ses en oversigt over de resultater der er opnået i hvert forsøg.

## Beregninger

### Forsøg 2

60%-fraktilen og 10%-fraktilen beregnet, ved at lave lineær regression imellem sigte med maskestørrelse 0,125 mm og 0,15 mm, der ligger mellem henholdsvis 60% og 10% i sigtekurven.

Sigte [mm]	Maks last [g]	Skål + sigterest [g]	Skål [g]	Sigterest [g]	Gennemfald [g]	Gennemfald [%]
2	200	3,06	3,06	0	79,52	100
1	100	3,09	3,09	0	79,52	100
0,5	70	3,13	3,12	0,01	79,51	99,99
0,425		3,13	3,09	0,04	79,47	99,94
0,25	50	3,36	3,08	0,28	79,19	99,58
0,212		4,15	3,09	1,06	78,13	98,25
0,15		27,12	3,07	24,05	54,08	68,01
0,125	35	21,73	3,10	18,63	35,45	44,58
0,075		37,39	3,10	34,29	1,16	1,46
0,063	25	4,11	3,10	1,01	0,15	0,19
Bund		3,20	3,05	0,15	0	0
			Sumkontrol:	79,52		

**Figur C.1.** Tabel over resultater for det første udførte forsøg

Sigte [mm]	Maks last [g]	Skål + sigterest [g]	Skål [g]	Sigterest [g]	Gennemfald [g]	Gennemfald [%]
2	200	3,09	3,09	0	79,99	100
1	100	3,13	3,13	0	79,99	100
0,5	70	3,13	3,11	0,02	79,97	99,97
0,425		3,10	3,07	0,03	79,94	99,94
0,25	50	3,50	3,13	0,37	79,57	99,47
0,212		4,40	3,15	1,25	78,32	99,91
0,15		31,91	3,12	28,79	49,53	61,92
0,125	35	30,88	3,07	27,81	21,72	27,15
0,075		23,21	3,12	20,09	1,63	2,04
0,063	25	4,22	3,04	1,18	0,45	0,56
Bund		3,53	3,08	0,45	0	0
			Sumkontrol:	79,99		

**Figur C.2.** Tabel over resultater for det andet udførte forsøg

Nedenstående ligning fås ved 10%-fraktilen:

$$y = 502,31x - 35,635 \rightarrow d_{10} = 0,091 \quad (\text{C.1})$$

Nedenstående ligning fås ved 60%-fraktilen:

$$y = 1390,7x - 146,68 \rightarrow d_{60} = 0,15 \quad (\text{C.2})$$

Uensformighedstallet beregnes til:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0,15}{0,091} = 1,64 \quad (\text{C.3})$$

### Fejlkilder

Sigteresterne kan ikke være børstet helt ud af maskerne, og alt materialet bliver dermed ikke vejet med. Derudover er det muligt, at sigterne ikke er blevet rengjort nok inden forsøgsstart, og der kan dermed sidde materiale fra anden prøve i maskerne, der bliver vejet med.

Ligeledes kan noget materiale kan være gået tabt under processen, idet partiklerne er meget små.



# Forsøg: Kornvægtfylde

D

## Apparaturliste

- Pyknometer
- Bægerglas
- Termometer med nøjagtighed  $0,1^{\circ}\text{C}$
- Vægt med vejenøjagtighed på  $0,001\text{ g}$
- Tørreskab, temperatur til  $105^{\circ}\text{C}$

## Fremgangsmåde

Dette forsøg laves med friktionsjord (tør metode). Der udtages en prøve af  $150\text{ g}$  tørstof, og dette placeres i et  $500\text{ mL}$  pyknometer. Pyknometeret fyldes ca. halvt op med luftfrit demineraliseret vand, og der drejes på pyknometeret for at undgå luftbobler. Derefter hældes der vand i, indtil vandet flyder over, når proppen sættes i. Proppen sættes i, og der sørges igen for, at der ikke er luftbobler til stede. Pyknometeret med materiale, vand og prop vejes og kaldes  $W_1$ , og beregnes altså ved  $W_1 = W_{pyk} + W_s + W_{vand}$ . Herefter måles temperaturen i pyknometeret, og temperaturen noteres. Dernæst aflæses  $W_2$  i et kalibreringsskema og noteres  $p_w^t$ .

## Resultater

	Forsøg 1	Forsøg 2
Pyknometer nr.	103	100
$W_1\text{ [g]}$	728,89	709,40
Temperatur $^{\circ}\text{C}$	22	23
$W_2\text{ [g]}$	641,164	615,967
$W_s\text{ [g]}$	161,27	150,06
$\rho_w^t\text{ [}\frac{\text{g}}{\text{mL}}\text{]}$	0,998	0,998
$d_s\text{ [}\frac{\text{g}}{\text{m}^3}\text{]}$	2,188	2,644

**Tabel D.1.** Resultater for kornvægtfylde

## Fejlkilder

En fejkilde ved dette forsøg er luftbobler i pyknometeret. Derudover var det en del af forsøget at benytte en vacuumekssikator, men grundet manglende tid blev dette trin sprunget over. En anden fejkilde er, at der kan være forskellige temperaturer i pyknometeret, og uddover disse fejkilder er der også måleusikkerheder, som eksempelvis når der tørstof og pyknometer skulle vejes eller temperaturen skulle måles. Ved forsøg 1 blev der vejet forkert og dette antages at være årsagen til det misvisende resultat.



# Forsøg: Løs og fast lejring

E

## Formål

Formålet med dette forsøg er, at bestemme hvor meget materiale der er tilbageholdt, som bruges til at finde lejringstætheden og poretallet af materialet.

## Apperaturliste

- Lille cylinder
- Tragt
- Stållineal
- Stamper passende til valgte cylinder
- Specialskydelære passende til valgte cylinder
- Vægt med vejenøjagtighed 0,01 g
- Sigte med maskevidde på 5 mm

## Fremgangsmåde

### Løs lejring

En delprøve af jordprøven er taget fra til forsøgene. Cylinderen placeres i bakken, og sigten anbringes i cylinderen. Materialet hældes forsigtigt op i sigten. Det skal glide ned ad kanten på sigten og videre i cylinderen. Der bruges tilstrækkeligt materiale til at cylinderen kan fyldes helt op. Sigten hæves nu forsigtigt op ad cylinderen. Det skal gøres over ca. et minut i en jævn og flydende bevægelse. Når alt materialet er hældt i cylinderen fjernes toppen med en stållineal således at materialet flugter med cylinderens overflade. Ved siden af cylinderen slåes der hårdt to gange i bordet, så materialet sætter sig. Materialet der eventuelt befinner sig på ydersiden af cylinderen børstes væk. Herefter vejes cylinderen og materialet, *Cyl + Ws*. Cylinderen tømmes for materiale, børstes og vejes *Cyl*. Dette gentages 3-4 gange.

### Fast lejring

Samme delprøve fra løs lejring bruges til fast lejring. Til fast lejring fyldes cylinderen op fordelt over fem gange. Mellem hver fyldning bliver materialet jævnet ud med en stållineal, og derefter stampes der. Antallet af slag stiger for hvert lag, der kommes i. Stamperen holdes lodret i cylinderen. Faldloddet føres op til stopklodsen for at slippes og foretage frit fald. For hvert 10. slag tages stamperen op, og børstes ren, for at sikre, at der ikke fastklemmes materiae mellem stamperen og cylinderens væg. Stamperens fod børstes for materiale som eventuelt skulle være presset mod. Inden det sidste lag stampes, skal der være ca. 5,0 mm fra materialet og til toppen af cylinderen. Efter sidste stampning fjernes det materiale, der eventuelt sidder fast på stamperen, og skydelæren sættes på kanten af cylinderen. Højden ned til materialet måles. Materialet, der eventuelt er på ydersiden af

cylinderen, børstes væk, og cylinderen med materialet vejes og noteres  $Cyl + W_s$ . Materialet fjernes og cylinderen børstes og vejes  $Cyl$ .

### Resultater for løs lejring

Prøve nr.	1	2	3	4
Areal [ $cm^2$ ]	10,0	10,0	10,0	10,0
Højde [cm]	7,0	7,0	7,0	7,0
Volume [ $cm^3$ ]	70	70	70	70
$Cyl + W_s$ [g]	340,45	340,46	340,50	337,52
$Cyl$ [g]	241,99	241,99	241,99	241,99
$W_s$ [g]	98,55	98,47	98,51	98,57
$e_{max}$	0,873	0,875	0,874	0,873

**Tabel E.1.** Resultater for løs lejring

### Resultater for fast lejring

Prøve nr.	1	2	3	4
Areal [ $cm^2$ ]	10,0	10,0	10,0	10,0
Højde [cm]	6,500	6,575	6,420	6,355
Volume [ $cm^3$ ]	65,00	65,75	64,20	63,55
$Cyl + W_s$ [g]	349,48	349,31	346,55	345,75
$Cyl$ [g]	241,99	238,95	238,95	238,95
$W_s$ [g]	107,49	110,36	107,60	106,80
$e_{min}$	0,595	0,571	0,573	0,569

**Tabel E.2.** Resultater for fast lejring

### Fejlkilder

I forsøg nr. 2 for fast lejring blev der fyldt for meget materiale i cylinderen. Derfor er der taget noget ud efter de 80 slag, og herefter er der givet 10 ekstra slag, hvilket kan give anledning til et varierende resultat. Det ses også, at resultatet  $W_s$  varierer lidt i forhold til de resterende forsøg.

Ved fast lejring forsøg 2 og 3 blev stampen ikke rengjort mellem hvert 10. slag. Dette kan have mindsket effekten af slagene, da kornene i cylinderen kan have givet friktion.

# F

---

## 1. Udvendig vindlast

- Egenlast - Vindlast - Lastkombinationer og reaktioner for tag - Reaktioner brud - Snit  
brud - Brudgrænsetilstand - Forskydningssspændingsfordeling - Reaktioner an - Snit an -  
Anvendelsesgrænsetilstand - Boreprofil