

Fundering.

Af Ingeniør cand. polyt. N. J. Manniche, M. Ing. F.

En Hovedbetingelse for et Bygværks Forsvarlighed er, at det hviler paa et solidt Fundament.

Sætninger af Fundamenterne kan i heldigste Tilfælde give Anledning til Revnedannelser, i værste Tilfælde til Sammenstyrning af Bygværket.

Det skulde synes selvfølgelig, at man i Forvejen var klar over Grundens Beskaffenhed og den Funderingsmaade, der skulde anvendes, men ikke desto mindre ses det Gang paa Gang, at det er nødvendigt, naar man kommer ned i Grunden, at foretage omfattende Funderinger, Pilotering eller lignende, der medfører Ændringer i Projektet, betydelige Bekostninger og Forsinkelser af Arbejdet, der kunde være undgaaet, hvis Spørgsmaalet var blevet undersøgt i Forvejen.

Før Arkitekten eller Ingeniøren giver sig til at projekttere det egentlige Bygværk, bør han altsaa lade Grunden undersøge og gøre sig klart, hvorledes Bygværket skal funderes. Funderingen er saa meget vigtigere, som det bagefter er overordentlig vanskeligt og bekosteligt, ja, ofte praktisk talt ugørligt at raade Bod paa Manglerne.

Undersøgelse af Grunden.

Drejer det sig ikke om en vanskelig og omfattende Fundering, kan man ofte faa en god Idé om Bundens Beskaffenhed og Bæreevne blot ved at stikke i den med en svær Jernstang, specielt er Metoden anvendelig, naar der ligger blødere Lag over den faste Bund, og man vil konstatere Beliggenheden af denne. I Almindelighed maa man dog undersøge Grunden nærmere, hvilket kan ske ved *Prøvegravninger* eller *Prøveboringer*, eventuelt *Prøvebelastninger* eller *Prøveramninger*. Ved omfattende Funderinger kan det være nødvendigt at raadføre sig med en Geolog om Jordlagenes indbyrdes Beliggenhed, Forekomst af strømmende Vand, Fare for Dannelse af Glideflader ved skraatliggende Lag o. l.

Prøvegravninger.

Ved mindre Bygninger, hvor man ikke byder Grunden større Belastninger, vil det i Almindelighed være tilstrækkeligt at foretage en eller flere *Prøvegravninger*, der bør føres ned under de projekterede Fundamenters Underflade, idet

det jo er de underliggende Lag, Fundamenterne hviler paa. Antallet og Dybden af *Prøvegravninger* afhænger af Bygværkets Karakter og Jordbundens Beskaffenhed. Er Jorden meget varierende, maa der foretages flere *Prøvegravninger* end ved ensartet Byggegrund, hvor man eventuelt kan nøjes med et enkelt Hul eller to.

Prøvegravninger har den Fordel, at man kan tage Jordbunden direkte i Øjesyn, men bliver *Prøvegravningen* dybere end ca. 3 m, vil det i Reglen være temmelig vanskeligt og bekosteligt at føre *Gravningen* ned. *Prøvegravninger* bør foretages udenfor de endelige Fundamenter for ikke at virke forstyrrende paa Grunden under disse.

Prøveboringer.

Ved *Prøveboringer* fører man et Bor med forholdsvis lille Diameter ned i Grunden. Ved med Mellemrum at tage Boret op, kan man faa *Prøver* af Jorden op fra de forskellige Dybder. En *Prøveboring* giver ikke saa direkte og sikre Resultater som en *Prøvegravning*, idet det ofte er vanskeligt at faa *Prøverne* op i deres oprindelige Lagring. *Boringerne* bør føres ned under den projekterede Funderingsdybde. Hvor dybt man skal gaa ned, afhænger af, hvor vigtigt det er at undgaa Sætninger af Bygværket, og beror isøvrigt ofte paa Erfaring og Skøn. I daarlige og stærkt varierende Jordlag bør man være meget omhyggelig med *Undersøgelserne* af de underliggende Lag; det kan saaledes være nødvendigt at bore en halv Snese Meter, ja mere ned under Grundfladen af et Fundament, f. Eks. en *Bropille* eller lignende.

Er Bunden imidlertid fast og god indtil ca. 3 m under Fundamentet, er der som Regel ingen Fare ved almindelige Funderinger.

Simplere *Boreundersøgelser* kan foretages med et ganske enkelt Bor som Fig. 1. Selve Boret fastgøres paa Enden af en lang Borestang af Rundjern eller Rør, paa hvilken der fastspændes en Tværstang, der tjener til Drejning og Nedtrykning af Boret.

Ved at trække Boret forsigtigt op, kan man optage *Prøver* af Jorden fra de forskellige Dybder, forudsat at Jorden er af en saadan Karakter, at Borehullet kan staa. Metoden er i mange Tilfælde utilfredsstillende, idet man ikke kan være sikker paa, at *Prøven* hidrører netop

fra den Dybde, man forudsætter, endvidere vil Borehullet ofte falde sammen.

Ved mere omfattende *Boringer* er det derfor nødvendigt at omgive Boret med et „*Foringsrør*“, der føres ned samtidig med Boret og sikrer, at Borehullet bliver staaende. I dette Tilfælde faar man f. Eks. et Arrangement som Fig. 2.

Ved dybe *Boringer* er det ofte nødvendigt at anvende Trykvand til Nedbringning af Boret. Ved *Skylleboring* indrettes Boret saaledes, at den hule Borestang kan sættes i Forbindelse med en Trykpumpe, der trykker en Vandstraale ud gennem et eller flere Huller i Boret.

Prøver af Jorden kan optages med passende Mellemrum ved at hæve Boret op over *Foringsrøret*. *Borene*, der benyttes til *Optagning* af *Prøver*, indrettes forskelligt efter *Jordbundens*

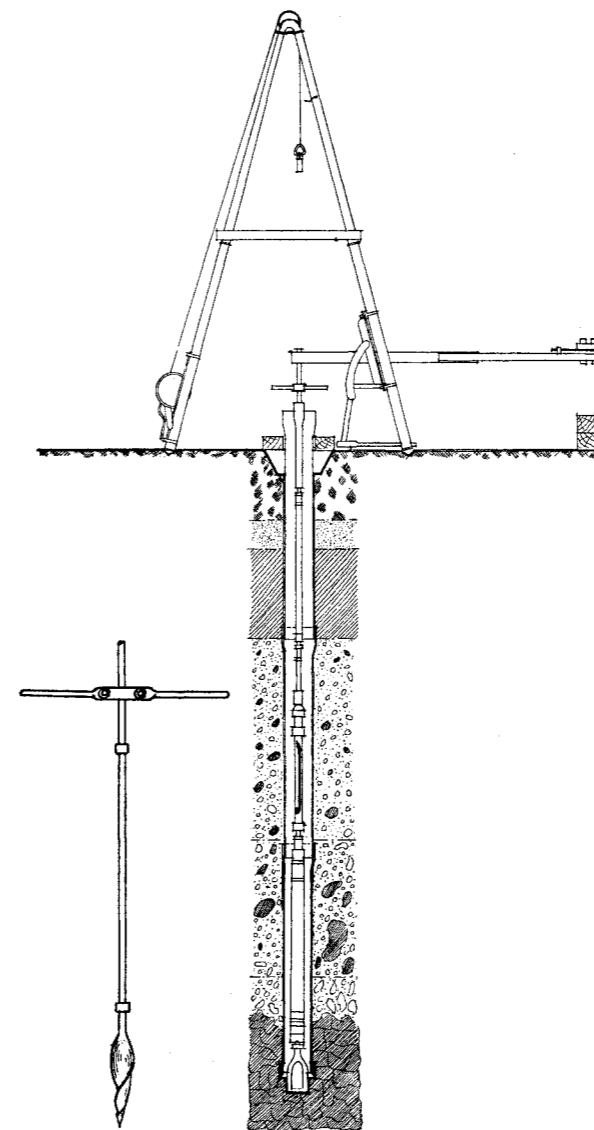


Fig. 1.

Fig. 2.

Karakter. Paa Fig. 3 ses forskellige Typer af Bor.

Boreprøverne opbevares i tætte Glas og *Boreresultaterne* optegnes (Fig. 4). Ved Hjælp af disse

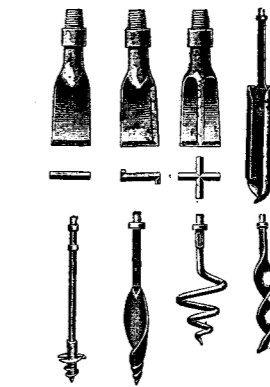


Fig. 3.

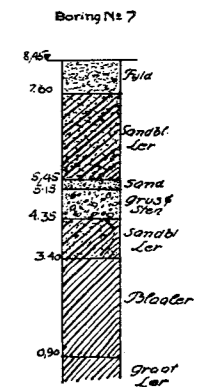


Fig. 4.

kan der optegnes *Profiler*, der viser *Jordlagenes* indbyrdes Beliggenhed (Fig. 5).

Ved Udbydelse af Arbejdet bør *Boreresultaterne* være tilgængelige for de bydende i en overskuelig Form.

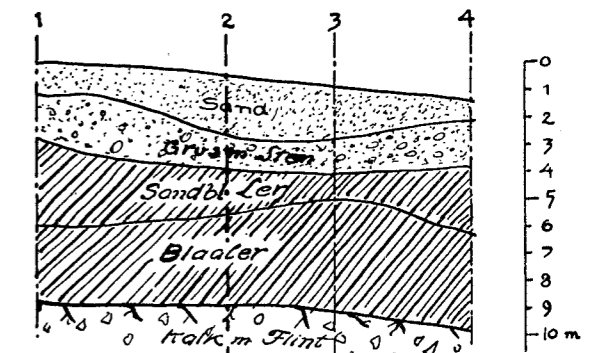


Fig. 5.

Det er ikke her Stedet at komme ind paa nøjere *Beskrivelse* af komplicerede *Boreundersøgelser*, der er en Videnskab for sig. I vanskelige Tilfælde gør man klogest i at overlade *Boreundersøgelserne* til en *Expert*, der er i Besiddelse af de fornødne *Redskaber* og *Erfaringer*.

Prøvebelastninger

anvendes mest, hvor Grunden er forholdsvis daarlig, og hvor man ikke efter det Kendskab, man faar til *Jordlagene* gennem *Prøvegravninger*, erfaringsmæssigt tør fastsætte den tilladelige *Belastning*.

Prøvebelastninger udføres ved at belaste en *Fundamentklods* med *Jernbaneskiner*, *Ballastjern* eller lignende. *Nedsynkningen* af *Fundamentet* maales f. Eks. hver Gang *Belastningen*

forøges med 1 t. Da det i Reglen varer noget, før Fundamentets Nedsynkning ophører efter en ny Belastning, bør man lade hengaa nogen Tid, forinden man aflæser. Bestaar Grunden af Ler, kan Nedsynkningen vedvare i lang Tid, flere Dage eller Uger, saaledes at en Prøvebelastning med Nedsynkningsmaalinger kan blive meget omstændelig og langvarig, saa meget mere som det er ønskeligt at aflaste og belaste flere Gange for at konstatere Størrelsen af de blivende Formforandringer og de elastiske Formforandringer, der forsvinder igen ved Aflastningen.

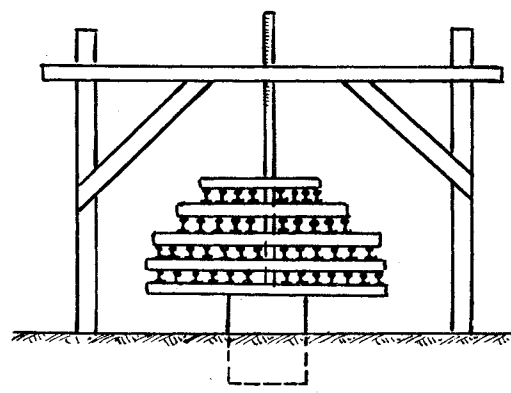


Fig. 6.

Paa Fig. 6 er vist, hvorledes en Prøvebelastning kan foretages. I Prøvefundamentet indstøbes eller fastgøres paa anden Maade en lodret Maalestok. Uafhængigt af Prøvefundamentet opstilles et Stillads, i Forhold til hvilket Nedsynkningerne maales. Prøvefundamentet belastes med Jernbaneskiner eller lignende, og Nedsynkningen aflæses paa Maalestokken. Nedsynk-

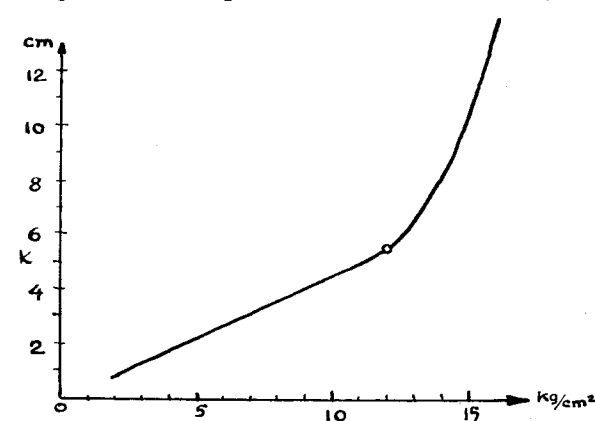


Fig. 7. Afhængighed mellem Belastning og Nedsynkning ved Prøvebelastning.

ningens Afhængighed af Belastningen optegnes i Kurve som Fig. 7. I Begyndelsen er der omtrentlig Proportionalitet mellem Belastning og Nedsynkning. Ved en vis Belastning faar Kurven

en udpræget Retningsforandring, idet Nedsynkningen vokser meget stærkt med Belastningen, der er i Virkeligheden sket et Brud eller en „Flydning“ i den underliggende Jordbund. Dette indtræffer, naar Fortætningsgrænsen overskrides og Nedsynkningen ikke længere hidrører fra en Komprimering af Jorden, men Jordpartiklerne begynder at vige ud til Siden under Fundamentet og skyder den overliggende Jord opad.

Man skal være noget forsigtig med at slutte direkte fra et Belastningsforsøg til Praxis, idet saavel Nedsynkning som Bæreevne er afhængig af Fundamentets Form og Størrelse. Forstaar man ved Jordens Bæreevne dens Fortætningsgrænse, er Bæreevnen forholdsvis større for store Flader end for smaa. Nedsynkningen er imidlertid ogsaa forholdsvis større, saaledes at en Prøvebelastning giver for gunstige Resultater med Hensyn til Nedsynkningen, medens Bæreevnen er større for det virkelige Fundament.

Prøvebelastninger med forholdsvis smaa Prøvelegemer er økonomisk overkommelige og giver i de fleste Tilfælde en god Forestilling om Bunden Bæreevne. Som det fremgaar af det foregaaende, er det ønskeligt at anvende saa store Prøvefundamenter som muligt. De økonomiske Rammer sætter en øvre Grænse herfor, imidlertid er de Penge, der ofres paa en omhyggelig Undersøgelse af Bunden, sjældent givet daarligt ud.

Saafermt Fundamentets Dimensioner bestemmes ud fra et skønsmæssigt fastsat tilladeligt Tryk paa Grunden, f. Eks. 2,5 kg/cm², og man kun vil undersøge, hvor stor Nedsynkning, Fundamentet kan faa ved de virkelig forekommende Belastninger, er det ikke nødvendigt at belaste mere end til f. Eks. 2 Gange den virkelig forekommende Belastning, det er da maaske ikke uoverkommeligt at belaste et Fundament af naturlig Størrelse.

Prøveramninger.

Er Jordbunden saa blød, at man ikke kan fundere direkte paa den, eller Fundamenternes Størrelse vil medføre uforholdsmæssig Bekostning, kan man gaa over til Anvendelse af Pælefunderinger.

Modstanden mod en Pæls Nedsynkning i Jorden hidrører dels fra Modstanden mod Pælespidsen, dels fra Friktionen langs Pæls Sider. Hvilken Modstand, der er overvejende, afhænger af Jordbundens Karakter og Lagenes indbyrdes Beliggenhed. Man skelner ofte mellem „Pæle til fast Bund“, hvor Modstanden mod Pælespidsen

er overvejende, og „Friktionspæle“, hvor Friktionsmodstanden mod Pæls Sider er overvejende.

For at konstatere Bæreevnen for en Pæl kan man foretage en Prøveramning, idet man under Prøvepæls Nedramning til Stadighed maaler Pæls Nedsynkning, f. Eks. pr. 10 Slag. Af Pæls Nedsynkning sammenholdt med Ramslagets Vægt og Faldhøjde kan man da af forskellige „Rammeformler“ danne sig et Skøn over Pæls Bæreevne.

Den her i Landet almindeligst anvendte Rammeformel er Eytelweins Formel, der siger:

$$P = \frac{Q^2}{Q+q} \cdot \frac{h}{e} + Q + q.$$

P : Pæls Bæreevne i kg.

Q : Ramslagets Vægt i kg.

q : Pæls Vægt i kg.

h : Faldhøjden maalt i cm.

e : Nedsynkningen pr. Slag i cm.

Formlen maa — ligesom Rammeformler i Almindelighed — anvendes med Omtanke, idet den bl. a. lider af den Mangel, at Bæreevnen nærmer sig uendelig, naar e er meget lille, hvilket i og for sig ikke er urimeligt under Forudsætning af, at Ramslagets Vægt og Faldhøjden er tilstrækkelige til at drive Pælen ned. Med et lille Ramslag og en lang, tung Pæl vil Ramslaget imidlertid ofte „danse“ paa Pælen, og man kan da godt faa en Nedsynkning, der praktisk er Nul, uden at det er ensbetydende med, at Pæls Bæreevne er overordentlig stor. Ramslagets Vægt maa derfor svare til Pæls Vægt, og man plejer ved Prøveramninger at foreskrive f. Eks., at Ramslagets Vægt skal være mindst lige saa stor som Pæls Vægt.

Dansk Ingeniørforenings Normer for Husbygningskonstruktioner foreskriver (for Eytelweins Formel) en Sikkerhedsfaktor $n = 4$ à 5 , d. v. s.

den tilladelige Belastning paa Pælen er: $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5} P$.

Hvis der foretages Prøvebelastning (se S. 382) i Stedet for Prøveramning, kan Sikkerhedsfaktoren sættes til 2 à 3.

„Hütte“ angiver Brix's Formel til Bestemmelse af Pæls Bæreevne:

$$P = \frac{Q^2 q}{(Q+q)^2} \cdot \frac{h}{e}.$$

Denne Formel giver langt mindre Værdier for P , men til Gengæld kan man regne med mindre Sikkerhedsgrad, $n = 2-3$.

Som en bekvem Huskeregel kan man for Jernbetonpæle, hvor Ramslagets Vægt er lig med Pæls Vægt, og Faldhøjden er 1 m, regne med, at Nedsynkningen pr. Slag ikke maa overstige ca. 5 mm, naar det tilladelige Tryk paa Jernbetonen skal udnyttes (ca. 40 kg/cm²).

Eks. 1.

Jernbetonpæl 25·25 cm·8,0 m.

Q : 1200 kg.

q : 1200 kg.

h : 100 cm.

Eytelweins Formel giver:

$$P = \frac{1200^2}{2400} \cdot \frac{100}{e} + 1200 + 1200 \text{ kg}$$

$$P = \frac{60}{e} + 2,4 \text{ t.}$$

Brix's Formel giver:

$$P = \frac{1200^2 \cdot 1200}{(2400)^2} \cdot \frac{100}{e} \text{ kg}$$

$$P = \frac{30}{e} \text{ t.}$$

Rammes Pælen, indtil Nedsynkningen er 5 mm pr. Slag, faas efter Eytelwein:

$$P = \frac{60}{0,5} + 2,4 = 122,4 \text{ t}$$

efter Brix: $P = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ t.}$

Regner man, at Pælen skal rammes, til dens Bæreevne svarer til tilladeligt Tryk paa Betonen, og regnes dette at være 40 kg/cm², faas $P = 40 \cdot 25^2 = 25000 \text{ kg.}$

∴ Der er en Sikkerhed $\frac{122,4}{25} = 4,9$ efter Eytelwein.

Der er en Sikkerhed $\frac{60}{25} = 2,4$ efter Brix's Formel.

Tilladelig Paavirkning af Grunden.

Det er almindeligt at inddele Jorden i Klasser efter dens Bæreevne. Dansk Ingeniørforenings Normer for Husbygningskonstruktioner skelner saaledes mellem:

Meget god Byggegrund

svarende til en tilladelig Paavirkning af 4 kg/cm², hertil regnes fastlejret groft Sand og Grus samt meget fast Ler, der ikke er udsat for at udblødes.

God Byggegrund

svarende til en tilladelig Paavirkning af 3 kg/cm², hertil regnes fastlejret meget fugtigt, groft Sand og Grus, fastlejret ikke meget fugtigt Sand og Grus med indtil 1/3 Ler og fast nogenlunde rent Ler, der ikke er udsat for at udblødes.

Temmelig god Byggegrund

svarende til en tilladelig Paavirkning af 2 kg/cm², hertil hører fint, tørt Sand, meget fugtigt Sand og Grus med indtil 1/3 Ler og fugtigt Sand og Grus med forholdsvis mere Ler.

Saafernt der udføres en korrekt Beregning af største Kanttryk, tillader Normerne et Kanttryk, der er 1 1/2 Gang de ovenfor anførte Værdier.

Ovenstaaende Klacifisering er ifølge Sagens Natur temmelig udflydende, idet der findes alle Overgange.

For at man kan regne med de anførte Værdier for tilladelig Paavirkning af Grunden, maa det forudsættes, at det underliggende Lag har en vis Mægtighed f. Eks. 3—4 m.

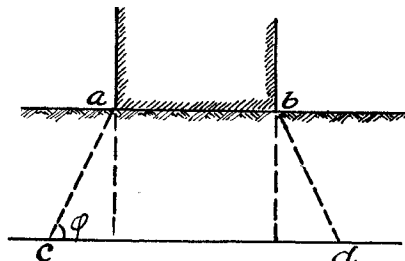


Fig. 8.

Trykket paa et Fundament fordeles sig ned gennem Jorden, saaledes at det breder sig ud over et større Areal, jo dybere man kommer ned. Trykket pr. Arealenhet aftager saaledes med Dybden. Se Fig. 8.

Hvor stærkt Fordelingen sker, afhænger af Jordens Karakter, navnlig Friktionsvinklen. Ligger der i Dybden c—d et blødere Lag, maa Belastningen fordelt over det tilsvarende Areal ikke overskride den tilladelige Belastning for dette Lag. Trykket antages her at fordele sig efter rette Linier, der danner Vinklen φ med den vandrette. φ kan sættes = 60—75° afhængig af Jordens Friktionsvinkel.

At fastsætte bestemte Talværdier for Jordarternes Bæreevne er ofte en vanskelig Sag, idet man jo ikke her har med et homogent Stof med konstante Egenskaber at gøre, endvidere er Grundens Bæreevne som tidligere omtalt afhængig af Fundamentets Form og Størrelse

m. m. Nedenfor er anført en Tabel med tilladelige Paavirkninger for lodret Belastning angivet i „Hütte“:

Jordart	Tilladelig Belastning kg/cm ²	Anmærkning
Klippe	20—50	Interpolation mellem laveste og højeste Værdi for Dybder 2—6 m. Ved større Dybder henvises til nedenstaaende Af-snit om Bæreevnens Afhængighed af Funderingsdybden.
Fastlejret Grus	5—8	
„ groft Sand..	4—7	
Fint Sand tørt fastlejret	3—5	
Fint Sand vaadt.....	0—3	
Tørt sandet Ler	3—4	
Vaad Ler og sandbl. Ler	0,5—2	

Mindre Nedsynkninger ved Jordens Komprimering vil altid forekomme, de er ikke farlige, naar de blot ikke er uensartede eller overskrider det tilladelige.

Den tilladelige Nedsynkning

afhænger af Bygværkets Karakter, specielt om det er en statisk bestemt eller ubestemt Konstruktion. Ved almindelige Husbygninger kan tillades en ensformig Nedsynkning af 1—3 cm. Ved større Rammekonstruktioner, kontinuerlige Dragere o. l., er Sænkninger af Fundamenterne, specielt naar de er uensartede, farligere end, naar det drejer sig om simpelt understøttede Bjælker eller andre statisk bestemte Konstruktioner.

Bæreevnens Afhængighed af Funderingsdybden.

Med tiltagende Dybde vokser Grundens Bæreevne for samme Jordart, idet de underliggende Lag er komprimeret af Vægten af de overliggende Lag.

Fjernes de øvre Lag, kan Jorden belastes med en tilsvarende Ekstravægt, saaledes at Bæreevnen i Dybden t under Jorden kan udtrykkes ved

$$\sigma = \sigma_0 + f(\gamma, t),$$

hvor $f(\gamma, t)$ er en Funktion af Vægtfylden γ og Dybden t , og σ_0 er Bæreevnen i Overfladen.

Dansk Ingeniørforenings Normer for Husbygningkonstruktioner tillader, at man forøger den tilladelige Paavirkning af Grunden med Vægten af den lodret over Fundamentets Grundflade afgravede Jord, d. v. s.

$$r = r_0 + \gamma t.$$

Det sidste Led, den overliggende Jords Vægt, adderes saaledes til den tilladelige Paavirkning med sin fulde Værdi uden Sikkerhedsfaktor.

Saafernt Fundamentet støbes direkte mod Jorden, hvilket sjældnere er Tilfældet ved dybe Fundamenter, optages en Del af Belastningen af den paa Fundamentets Sideflader virkende Friktion fra den omgivende Jord, saaledes at den tilladte Paavirkning for et saadant Fundament i Dybden t under Jordoverfladen kan udtrykkes ved:

$$r = r_0 + \gamma \cdot t + f \cdot \frac{O}{F},$$

hvor f er den paa 1 cm² virkende Friktion, O er Arealet af Fundamentets Sideflader, og F Grundfladens Areal, $f \times O =$ hele den paa Sidefladerne virkende Friktion.

Kraften f kan f. Eks. beregnes som $\mu \cdot E$ (se Fig. 9), hvor E er det paa Fundamentets Side-

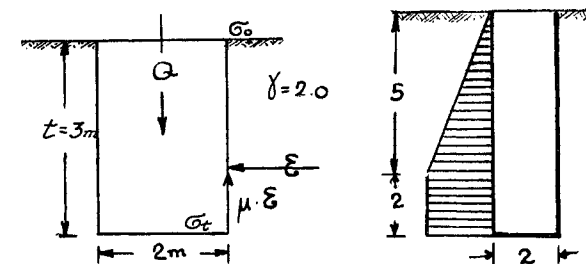


Fig. 9.

Fig. 10.

flader virkende aktive Jordtryk; idet dette regnes

$$= \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

er

$$f = \mu \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right),$$

hvor μ er Friktionskoefficienten mellem Mur henholdsvis Beton og Jord. μ kan regnes at variere fra 0,2 til 0,5 afhængig af Jordarten og Fundamentets større eller mindre Ruhed. φ er = Skræntvinklen for den paagældende Jordart.

Ved større Dybder kan Beregningsmaaden ikke anvendes, man kan da anvende nedenstaaende Tabel for Friktionsmodstanden f , der kan regnes voksende fra 0 til den fulde Værdi fra Jordoverfladen til Dybde 5 m og konstant fra 5 til 15 m's Dybde (Fig. 10). Værdien for f gælder for lodrette Sider af Fundamentet; tiltager Fundamentets Brede nedefter, bliver f mindre.

Jordart	Fundament	f t/m ²	f t/m ²	Jordart
Sand og Grus	Ru Træ	3,0	2,0	Ler
	Ru Murværk	3,0	2,5	
	Ru Beton	2,5	1,5	
	Glat Puds	1,5	1,2	

Eks. 2.

Betonfundament med 3 m's Dybde og Grundflade 2 x 3 m (Fig. 9).

$$F = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2, O = 3 \cdot 10 = 30 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$$

$$t = 3 \text{ m}$$

$$\sigma_0 = 20 \text{ t/m}^2 \approx 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,3$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$f = \mu \cdot E = 0,3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,0 \cdot 3,0^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 0,9$$

$$\sigma = 20 + 2,0 \cdot 3 + 0,9 \cdot \frac{30}{6}$$

$$\sigma = 20 + 6 + 4,5 = 30,5 \text{ t/m}^2 \approx 3 \text{ kg/cm}^2.$$

Den tilladelige Paavirkning vokser saaledes med 50 %.

Eks. 3.

Betonfundament med 7 m's Dybde i groft lerholdigt Sand (Fig. 10).

$$F = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2$$

$$O_1 = 5,0 \cdot (2 + 2 + 3 + 3) = 50 \text{ m}^2$$

$$O_2 = 2,0 \cdot (2 + 2 + 3 + 3) = 20 \text{ m}^2$$

$$\sigma_0 = 2 \text{ kg/cm}^2 \approx 20 \text{ t/m}^2, \gamma = 2,0$$

$$\sigma_t = \sigma_0 + \gamma t + f_{0-5} \cdot \frac{O_1}{F} + f_{5-7} \cdot \frac{O_2}{F}$$

$$\sigma_t = 20 + 2,0 \cdot 7 + \frac{2,5}{2} \cdot \frac{50}{6} + 2,5 \cdot \frac{20}{6}$$

$$\sigma_t = 20 + 14 + 10,4 + 8,3 = 52,7 \text{ t/m}^2 \approx 5,27 \text{ kg/cm}^2.$$

Til Forøgelse af Fundamentets Bæreevne med voksende Dybde virker endnu flere Bidrag; den overliggende Jord vil saaledes bevirke, at Jorden under Fundamentet vanskeligere viger ud til Siden under Fundamentets Tryk; imidlertid skal vi ikke her komme nærmere ind paa disse Forhold.

I Almindelighed vil det ikke i en ensartet Jordart være økonomisk at føre Fundamentet ned til større Dybde end strengt nødvendig, idet Fundamentets Volumen og Vægt vokser uforholdsmæssigt med Dybden.

Vandets Indflydelse paa Grunden og Fundamentet.

Tilstedeværelse af Vand i Grunden kan indvirke paa Fundamentet paa forskellig Maade, dels kan det influere paa Jordarternes Lagring og derigennem paa Fundamentets Bæreevne, dels paavirker Vandet Fundamentet gennem Opdriften.

Vandets Indflydelse paa Jorden gør sig særlig gældende ved Jordarter, der bestaar af fine Korn som fint Sand og Ler.

Strømmende Vand kan ved at flytte Partiklerne ødelægge Grundens Bæreevne totalt eller underskære Fundamentet.

Vand, der ikke er i Bevægelse, kan bevirke, at Jordpartiklerne lettere viger ud til Siden, hvorved Bæreevnen formindskes.

Særlig forsigtig maa man være med fint Sand, der, naar det bliver vandmættet, kan faa Karakter af Flydesand, der er ganske uden Bæreevne,

De vigtigste Funderingsmetoder.

I det følgende tages navnlig Henblik paa Funderinger for almindelig Husbygning, Fabriksbygninger, Lagerbygninger m. v.

I. Normal Fundering paa almindelig god Byggegrund.

Den mindste Dybde for Fundamenterne er bestemt af Faren for Frost. Frostfri Dybde regnes her i Landet at ligge ca. 70—100 cm under Jordoverfladen, afhængigt af, hvor udsat det paagældende Sted er.

Udførelse.

Fundamenterne udføres nu til Dags saa godt som altid af Beton eller Jernbeton. Almindelige Betonfundamenter gives i Reglen rektangulært eller omtrent rektangulært Tværsnit, eventuelt med noget voksende Bredde nedefter. Fundamenterne bliver billigst og faar størst Bæreevne, saafremt det er muligt at støbe Betonen direkte mod Jorden, idet Friktionen mod Fundamentets Sideflader da virker til Gunst for Bæreevnen. Paa Fig. 11 ses nogle typiske Eksempler paa almindelige Betonfundamenter.

Beregning.

Bestemmende for Fundamentets Dimensioner er dels, at det skal kunne fordele Belastningen ud over et tilstrækkelig stort Areal, saaledes at

idet det forholder sig som en tykflydende Vædske, i hvilket Fundamentet efterhaanden kan synke helt til Bunds.

Ler kan ogsaa miste Bæreevnen, naar det bliver oplødt og faar plastisk Konsistens.

Er der Fare for Dannelse af Flydesand eller Udblødning af Leret, maa man gardere sig f. Eks. ved at sænke Vandspejlet eller ved at fundere paa Pæle, der naar ned i den faste Bund.

I vandfyldte Jordlag vil *Vandets Opdrift* virke formindskende paa Fundamentets Vægt. Opdriftens Størrelse afhænger af Vandstandshøjden og Jordarternes Porøsitet. Vandtrykket paa Fundamentet σ : Opdriften, svinger med Vandstanden hurtigere eller langsommere afhængigt af, hvor porøs Jorden er. Ved Beregning af Fundamentet maa Belastningerne udregnes saavel med den størst tænkelige Opdrift som uden Opdrift. Hvilket Belastningstilfælde, der er farligst, kan ikke altid siges paa Forhaand.

Paavirkningen paa Grunden ikke overskrider det tilladelige, dels skal Fundamentet som saadant have tilstrækkelig Styrke, d. v. s. det maa ikke knække paa Grund af Bøjningspaavirkning eller forskydende Kræfter.

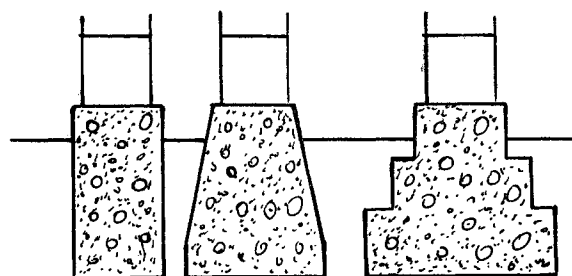


Fig. 11.

a. Lodret Belastning.

Det antages, at Resultanten R af samtlige paa Fundamentet virkende Kræfter har Ekscentriciteten e (Fig. 12).

Idet det forudsættes, at Reaktionen fordeler sig efter en ret Linie, faas Spændingerne:

$$(a_1). \quad \left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{matrix} \right\} = \frac{R}{b \cdot l} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{b} \right)$$

hvor b er Bredden og l er Længden af Fundamentet, denne Formel gælder, naar e er lig med eller mindre end $\frac{b}{6}$: saa længe saavel σ_1 som σ_2

er Trykspændinger. Specielt faas for $e = 0$ (central Belastning)

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \frac{R}{b \cdot l}.$$

Saafremt Resultanten af samtlige paa Fundamentet virkende Kræfter har Ekscentriciteten $e > \frac{b}{6}$, vilde σ_2 efter ovenstaaende Formel blive negativ; da der imidlertid ikke kan optages Trækspændinger mellem Fundamentet og Jorden, vil man faa en Trykfordeling som vist paa Fig. 13, hvor σ findes af Formlen:

$$(a_2). \quad \sigma = \frac{2R}{3ml}.$$

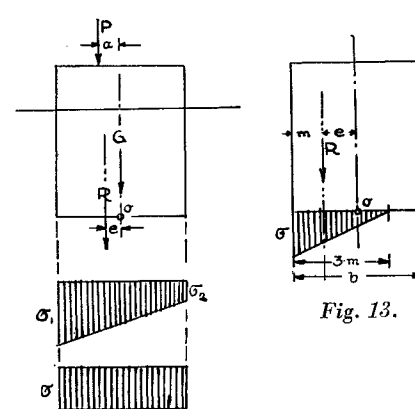


Fig. 12.

Fig. 13.

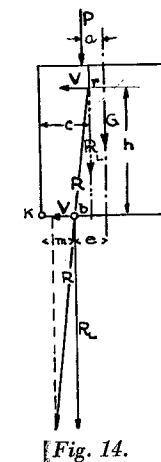


Fig. 14.

b. Lodret og vandret Belastning.

Det antages, at R er Resultanten af samtlige paa Fundamentet virkende Kræfter incl. Egenvægt m. v. (Fig. 14). R sammensættes af Resultanten af de lodrette Kræfter R_l og Resultanten af de vandrette Kræfter R_v angribende i r , i Højden h over Fundamentets Underflade, som R skærer i Punktet b .

R opløses i b paany i Kræfterne R_l og R_v , hvorved Spændingsbestemmelsen hidrørende fra R_l er reduceret til de foregaaende Tilfælde a_1 henholdsvis a_2 , afhængig af, om e er $\leq \frac{b}{6}$. Med

Hensyn til de vandrette Kræfter maa man undersøge, om der er Fare for Glidning $\sigma: \mu R_l > n \cdot R_v$, hvor μ er Friktionskoefficienten mellem Fundament og Jord ($\mu = 0,2$ à $0,5$), og n er en Sikkerhedsfaktor, der kan sættes til 2 à 3.

Saafremt m (Fig. 14) svinder ind til Nul c : R_l angriber i Fundamentets ene Kant, bliver $\sigma = \infty$. For at sikre sig, at R ikke ved en lille Forøgelse af Belastningen nærmer sig for meget til Kanten, saaledes at man faar en uendelig

stor Spænding, maa man konstatere, at der er en vis Sikkerhed mod Væltning omkring Kanten k :

Den ene Vej virker Momentet $M_1 = R_l \cdot c$

Den anden Vej virker Momentet $M_2 = R_v \cdot h$.

Forholdet $\frac{M_1}{M_2}$ skal mindst være = 1,5, σ : der skal være 1,5 Gang Sikkerhed mod Væltning.

Eks. 4.

Fundamentet er gennemgaaende med Bredde 1,50 m og Højde 1,75 m. Idet man betragter 1 l m af Fundamentet, faas den lodrette Belastning $P = 15$ t virkende med Ekscentriciteten $a = 0,20$ m (Fig. 12). Vægten af Fundamentet pr. 1 m:

$$G = 1,50 \cdot 1,75 \cdot 2,2 = 5,8 \text{ t}$$

$$R = 15 + 5,8 = 20,8 \text{ t.}$$

Ekscentriciteten e bestemmes ved at tage Momentet af samtlige Kræfter om σ :

$$R \cdot e = P \cdot a$$

$$20,8 \cdot e = 15,0 \cdot 0,20, \quad e = 0,144 \text{ m.}$$

Da e er mindre end $\frac{1}{6} b = \frac{1}{6} \cdot 1,50 = 0,25$ m, bestemmes Spændingen af Formlen (a_1):

$$\sigma_1 = \frac{20,8}{1,5 \cdot 1,0} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,144}{1,50} \right)$$

$$\sigma_1 = 22 \text{ t/m}^2 \approx 2,2 \text{ kg/cm}^2.$$

Eks. 5.

Samme Fundament som ovenfor, men Kraften $P = 15$ t virker med Ekscentriciteten $a = 0,60$ m.

e bestemmes som ovenfor af:

$$20,8 \cdot e = 15 \cdot 0,60$$

$$e = 0,43 \text{ m} > \frac{1}{6} b = 0,25 \text{ m};$$

$$m = 0,75 - 0,43 = 0,32 \text{ m}$$

σ bestemmes af Formlen a_2 (Fig. 13)

$$\sigma = \frac{2 \cdot 20,8}{3 \cdot 0,32 \cdot 1,0} = 43 \text{ t/m}^2 \approx 4,3 \text{ kg/cm}^2.$$

Eks. 6.

Samme Fundament som ovenfor, $P = 15$ t virker med Ekscentriciteten $a = 0,20$ m. Desuden virker der en Kraft $V = 1,8$ t i Højden $h = 3,5$ m over Fundamentsunderkanten. I Stedet for grafisk at sammensætte Kræfterne til en Resultant R , er det bekvemmere og nøjagtigere at regne sig til Beliggenheden af Punk-

tet b (Fig. 14), hvilket sker ved at tage Momentet af samtlige Kræfter om 0:

$$R_L \cdot e = V \cdot h + P \cdot a + G \cdot 0.$$

$$20,8 \cdot e = 1,8 \cdot 3,5 + 15 \cdot 0,2 + 5,8 \cdot 0$$

$$e = 0,45 \text{ m} > \frac{b}{6}; m = 0,75 - 0,45 = 0,30 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot R_L}{3 \cdot m \cdot l} = \frac{2 \cdot 20,8}{3 \cdot 0,30 \cdot 1,0} = 46,5 \text{ t/m}^2 \approx 4,65 \text{ kg/cm}^2.$$

Sikkerhed mod Væltning:

$$M_1 = P \cdot \left(\frac{b}{2} - a \right) + G \cdot \frac{b}{2} = 15 (0,75 - 0,20) + 5,8 \cdot 0,75 = 12,6 \text{ tm.}$$

$$M_2 = V \cdot h = 1,8 \cdot 3,5 = 6,3 \text{ tm.}$$

$$n = \frac{12,6}{6,3} \approx 2,0 \text{ Sikkerhed mod Væltning.}$$

Faren for Glidning: $R_L \cdot \mu = n \cdot V$

$$20,8 \cdot 0,3 = n \cdot 1,8$$

$$n = \frac{6,24}{1,8} = 3,5.$$

II. Fundering paa mindre god Byggegrund.

Fundamenter af Jernbeton.

Er Grundens Bæreevne mindre god, eller de virkende Kræfter store, kan det blive nødvendigt at brede Fundamenterne meget ud for at faa tilstrækkelig Grundflade. Saafremt Fundamentet udføres af almindelig Grovbeton, vil det, det Betonen ikke kan optage Trækspændinger

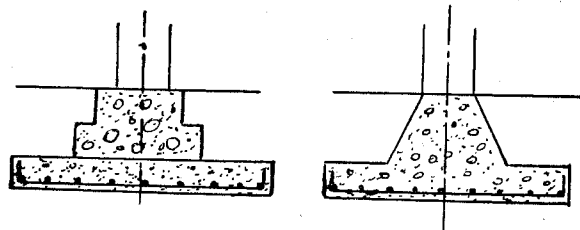


Fig. 15.

af Betydning, medføre, at Fundamentets Volumen bliver uforholdsmæssigt stort. Det vil derfor ofte i saadanne Tilfælde være bekvemt og økonomisk at anvende armeret Beton til Fundamenterne. Hvorvidt almindelig Grovbeton eller Jernbeton er økonomisk, kan ofte ikke siges paa Forhaand, men maa undersøges i hvert

enkelt Tilfælde, idet Priserne er afhængige af mange Forhold, Jordbunden, Materialpriser m.m. Paa Fig. 15 er skematisk vist nogle typiske Jernbetonfundamenter.

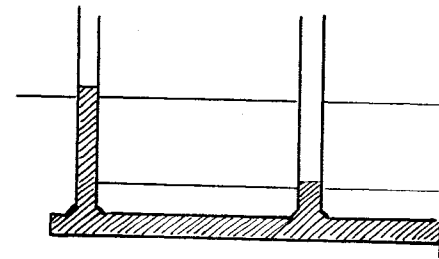


Fig. 16.

Undertiden kan det være fordelagtigt at lægge en Jernbetonplade med eller uden Ribber under hele Bygværket som skitseret paa Fig. 16. Funderingsmaaden er navnlig fordelagtig, naar man vil undgaa uensartede Sætninger ved uensartet Jordbund.

III. Fundering paa daarlig Byggegrund.

Naar der ikke findes fast Grund i overkommelig Dybde, kan man fundere paa Sænkebrønde, anvende Trykluftsfundering eller Pælefundering.

Sænkebrønde

kan udføres af Murværk, Beton, Jernbeton eller Jern. Nu til Dags anvendes almindeligst Jernbetonsænkebrønde. Funderingsmetoden bestaar i, at man sænker hule Cylindre „Sænkebrønde“ ned gennem de blødere Lag til bæredygtig Grund ved Udgravning indenfor Cylindervæggen samtidig med, at Cylindere belastes. Funderingsmaaden er mindre almindeligt anvendt ved Husbygninger og skal derfor ikke omtales nærmere her.

Foregaar Sænkningen af Fundamentet gennem Vand eller vandførende Lag, kan man anvende

Trykluftsfundering

hvor man udnytter Trykluftens Evne til at presse Vandet ud af et „Arbejds-kammer“, der indrettes nederst i Fundamentet. I dette Arbejds-kammer kan Folk arbejde uden Gener fra Vandet og ved Fjernelse af Jorden efterhaanden bringe Fundamentet til at synke ned gennem Jordlagene til bæredygtig Bund. Heller ikke denne Funderingsmaade er almindelig anvendt ved Fundering af Husbygninger, idet den er meget kostbar dels paa Grund af de nødvendige Installationer, dels paa Grund af den høje Arbejdsløn, der maa betales for Arbejde i Trykluft.



Fig. 17.

Pælefundering.

Den almindeligst anvendte Funderingsmaade, naar der ikke findes tilstrækkelig fast Bund i overkommelig Dybde, er Pælefundering. Der kan her være Tale om at anvende Træpæle, Beton- og Jernbetonpæle samt Jernpæle.

Træpæle

er lettest at haandtere og billigst i Brug, men de er kun forsvarlige, naar de til Stadighed er dækket af Vand, idet de i modsat Fald vil raadne. Her til Lands anvendes mest Rundpæle af dansk Gran og svensk eller pommersk Fyr. Danske Granpæle kan faas op til en Længde af ca. 15 m og Diameter 35 cm maalt paa Midten. Større Dimensioner er sjældent almindelig Handelsvare. Svenske Rundpæle faas op til ca. 20 m Længde og Diameter 40 cm, men ved saa store Dimensioner er det ofte økonomisk at anvende pommersk Fyr, der kan faas op til 50 cm Diameter og mere.

Beton- og Jernbetonpæle.

Af disse findes der efterhaanden et Utal af Systemer, hvor Pælene fremstilles dels paa Stedet d. v. s. i Jorden, dels som Jernbetonpæle, der rammes eller skylles ned i Jorden; denne sidste Type er langt den almindeligst anvendte her i Landet. Pælene har i Reglen kvadratisk Tværsnit og armeres med 4 Stk. Længdejern og Bøjler eller Bindinger med maksimal Afstand lig med Pælens Sidelinie.

Den til Jernbetonpæle anvendte Beton bør være af særlig god Kvalitet, idet den bliver udsat for en kraftig Paavirkning under Ramningen. Blandingsforholdet er i Reglen 1C:2S:3St. Pælene bør lagres mindst 4 Uger, saafremt de støbes i almindelig Portlandcement. Med Specialcement (Alcement, Velocement o. l.) kan Lagringstiden indskrænkes til 3 Dage à 1 Uge. Pælene fremstilles forøvrigt i Overensstemmelse med Jernbetonnormerne. Paa Fig. 17 er vist en typisk Jernbetonpæl; saavel Pælehovedet som Spidsen forstærkes ved særlig tætliggende Bøjler. Pælens Sidelinie bør af Hensyn til Transport og Ramning mindst være: $\frac{1}{50} L + 10 \text{ cm.}$

En særlig i Udlandet anvendt Type af Jernbetonpæle er Pæle med Længde- og Spiralarmering. Saafremt Pælene skal skylles ned, forsyner

man dem ofte med et langsgaaende Rør, hvorigennem Skyllestrømmen ledes.

Ved meget store Jernbetonpæle kan man gaa over til at anvende hule Pæle. Paa Fig. 18 er vist Snit i en hul Pæl, som er anvendt ved den ny Limfjordsbro med udvendig Diameter 66 cm og Længder op til 35 m.

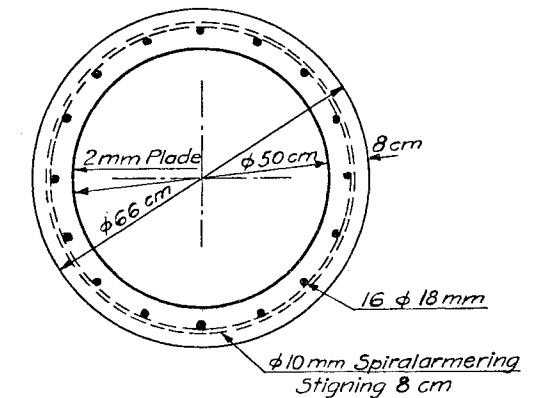


Fig. 18.

Af Betonpæle, der fremstilles paa Stedet, findes flere Typer. Karakteristisk for dem er det, at de fremstilles ved Udstøbning af Beton i en i Jorden fremstillet Hulhed.

Man skelner mellem Pæle, der fremstilles indenfor en Jernkappe, der forbliver i Jorden, og Pæle, hvor Jernkappen trækkes op, efterhaanden som Betonstøbningen skrider frem.

Kappen eller Røret kan bringes ned ved Ramning eller Udboring eventuelt ved Udskylning.

Fordelen ved Pæle af denne Art er, at de kan fremstilles straks uden at afvente Hærdning af Betonen, endvidere kan man ved Pæle, hvor Røret bringes ned ved Boring, undgaa Rystelser fra Ramning, hvilket kan være af Betydning paa tæt bebyggede Steder.

Pæle af sidstnævnte Typer har kun fundet lille Udbredelse her i Landet, og det vil føre for vidt her, at komme nærmere ind paa Beskrivelse af de forskellige Systemer.

Jernpæle

kommer sjældent til Anvendelse ved almindelige Funderinger.

Beregning af Pælene.

For at en Pæl skal være tilfredsstillende, maa følgende Fordringer være opfyldte.

1.

Selve Pælen maa have tilstrækkelig Styrke.

2.

Paavirkningen mellem Fundament og Pæl maa ikke overskride det tilladelige.

3.

Pælens Bæreevne, d. v. s. Modstanden mod dens Nedsynkning maa være tilstrækkelig.

ad 1. Saafremt Pælen er kort, eller man kan regne, at den er omgivet af saa modstandsdygtige Jordlag, at den ikke kan bøje ud, er det Pælens Trykstyrke σ : tilladeligt Tryk pr. Arealenhed, der er bestemmende for, hvilken Kraft den kan optage. Har Pælen en større fri Længde, staar den f. Eks. i fast Bund med overliggende bløde Lag, maa den dimensioneres som Søjle med en fri Længde, der ofte maa fastsættes temmelig skønsmæssigt.

ad 2. Bestaar Fundamentet f. Eks. af temmelig mager Beton med ringe Trykstyrke, kan denne blive bestemmende for den Kraft, Pælen kan optage.

ad 3. Pælens Bæreevne er i Reglen afgørende for, hvilken Kraft man kan byde den. Hvis Fundamentets Trykstyrke svarer til en mindre Belastning, øges den ved Anvendelse af en stærkere Beton for at udnytte Bæreevnen fuldstændig.

Angaaende Pælens Bæreevne bestemt ved Prøveramning henvises til S. 383.

En Pæls Bæreevne bestemmes iøvrigt sikrest ved en Prøvebelastning, men en saadan er ofte temmelig omstændelig og kostbar. Ved en Prøvebelastning er det imidlertid tilstrækkeligt at belaste op til 1,5 à 2 Gange den Belastning, Pælen vil faa i Bygværket.

Statisk Beregning af Pælens Bæreevne.

For ved Projekteringen at kunne bestemme den omtrentlige Længde af Pælene, kan man anstille statistiske Beregninger, der gaar ud paa at bestemme Modstanden mod en Pæls Nedsynkning. Saadanne Beregninger er imidlertid temmelig mangelfulde, idet der er mange ukendte Faktorer, der spiller ind.

Pælens tilladelige Bæreevne kan sættes =

$$P_{\text{till.}} = p \cdot F + r \cdot o \cdot l$$

p = Jordens Modstand mod Pælenspidsen i kg/cm^2

F = Pælens Tværnsitsareal i cm^2

r = Jordens Friktionsmodstand mod Pælens Sider i kg/cm^2

o = Pælens Omkreds i cm.

l = Pælens Længde i cm.

p kan for almindelige Jordbundsforhold sættes

til 5—10 kg/cm^2 afhængigt af Jordens Karakter og Pælelængden, idet p vokser med denne. For r kan regnes følgende Værdier:

For fastlejret Sand og Grus.. 0,3—0,4 kg/cm^2

For fint Sand og Ler..... 0,2—0,25 —

For blødt Ler 0,1—0,15 —

Eks. 7.

Jernbetonpæl 25 · 25 · 800 cm, Jordbund: temmelig blødt sandholdigt Ler.

p skønnes til 6 kg/cm^2 og r til 0,20 kg/cm^2 .

$$P_{\text{till.}} = 6 \cdot 25^2 + 0,20 \cdot 100 \cdot 800 = 3750$$

$$+ 16000 \text{ kg} \approx 20 \text{ t.}$$

Beregning af Pælefundamenter udføres i Reglen ved, at man efter bedste Skøn fordeler et Antal Pæle paa passende Maade under Bygværket, hvorefter Paavirkningen paa de forskellige Pæle undersøges. Ved Fordeling af Pælene under Fundamenterne sørger man for, at alle Pæle saa vidt muligt faar samme Belastning. Er Bygværket paavirket af vandrette Kræfter, maa man anbringe Skraapæle til Optagelse af disse. I Reglen fordeles Pælene under Ydermur og bærende Skillemure eller bærende Søjler. Den fri Afstand mellem Pælene bør ikke være mindre end $1\frac{1}{2}$ Gange Pælens Sidelinie. Ved spredte Pæle maa Fundamentet armeres for at overføre Kræfterne til Pælene. Længdearmring fra Pælene blottes og flettes ud i Fundamentet. Beregningen af Paavirkningen paa Pælene baseres paa, at der er Proportionalitet mellem Pælehovedets Nedsynkning og den paa Pælen virkende Kraft.

Ved almindelige Husbygninger vil Beregningerne i Reglen ikke volde Besvær, idet man regner Vægten jævnt fordelt over Pælene, og sørger for saa vidt muligt at faa alle Pælene ligeligt belastede.

Mere komplicerede Pælefunderinger kan give Anledning til omfattende Beregninger; angaaende saadanne skal særlig henvises til Prof. Nøkkentveds Bog: „Beregning af Pæleværker“, iøvrigt henvises til efterfølgende Litteraturfortegnelse.

N. J. Manniche.

Litteratur:

Brennecke-Lohmeyer: Der Grundbau, Berlin.

Fowler, Charles E.: Engineering and building foundations, New York.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften.

Handbuch für Eisenbetonbau.

Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch, Berlin.

Nøkkentved: Beregning af Pæleværker.

Schindler. Handbuch des Hochbaues, Wien.

Schönweller: Fundering.

Suenson: Jernbeton.