

w wykonaniu prostsze.

Wszystkie rozumowania dotychczasowe wychodzą z założenia, że fundament oparty jest na warstwie gruntu, położonej bezpośrednio poniżej granicy przemarzania. Jeżeli jednak i ta warstwa gruntu daje: $q < p$, to należy fundament zagłębiać dopóty, dopóki nie uczyni się zadość zależności: $p < q$

czyli dopóki nie osiągnie się takiej warstwy gruntu, której wytrzymałość przy poszerzeniu fundamentu, odpowiedniem do zagłębienia, nie okaże się większą lub co najmniej równą obciążeniu.

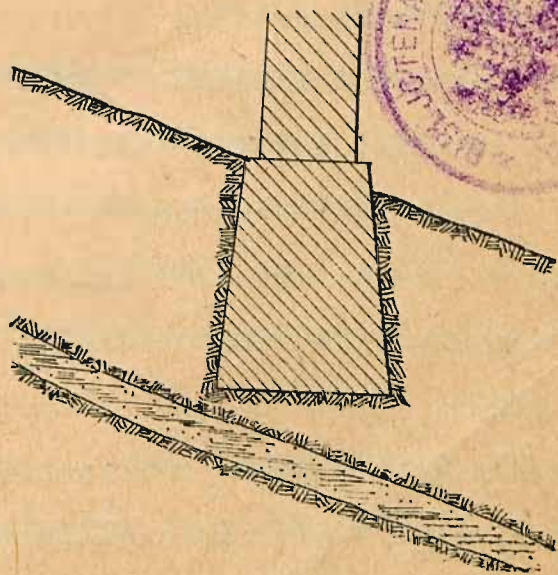
2. Przemarzanie gruntu.

W czasie zimy ziemia zawsze przemarza niezależnie od tego z jakich się składa gruntów. Głębokość przemarzania zależna jest od stopnia obniżenia temperatury, od długotrwałości mrozów, grubości szaty śnieżnej oraz od rodzaju gruntu.

Chociaż wszystkie rodzaje gruntów przemarzają, jednak nie wszystkie w razie przemarznięcia przedstawiają jednakowe niebezpieczeństwo dla budowli, gdyż nie wszystkie przemarzają jednakowo głęboko. Niebezpieczeństwo bowiem polega na zmianie objętości przy zamarzaniu. A więc skały oraz suche: żwir i piasek nie zmieniające

swej objętości mogłyby być warstwami bezpiecznymi; jednak i one pod wpływem mrozu i wilgoci zmieniają swą konsystencję / wietrzeją/, a wtedy stopniowo zawodzą zaufanie co do swej niezmienności objętościowej. Żwir i piasek, nasycone wodą, oraz glina - objętość swoją zmieniają. Szczególnie niebezpieczna jest glina, która na 1 m. przemarzania może dawać wysadziny, dochodzące do 5 cm. Gliny przemarzają głębiej od piasku.

W gruntach gliniastych i ilastych spotykamy często znaczej miąższości warstwy wodonośne w postaci podziemnych strumieni. Gdy taka warstwa w którymkolwiek miejscu przemarznie, to woda



szukając ujścia może wyrzucić tak silne ciśnienie, że podniesie grunt, znajdujący się nad nią. Zdarzają się istne przekładańce z przemarzniętych warstw gruntu i lodu, których ilość dochodzi do 10-ciu. Takie grunty mogą w razie przemarznię-

cia podnosić do góry 2-3 piętrowe kamienice. Ponieważ zamrażanie nie bywa równomierne, więc i podnoszenie budowli równomierne być nie może, co wywołuje nieraz szereg rys i pęknięć, groźnych dla bezpieczeństwa budowli. Większe jednak niebezpieczeństwo przedstawia opuszczenie się takiej podniesionej budowli w czasie rozmrażania gruntu, gdyż tu nierównomierność jest jeszcze większa, należy od położenia w stosunku do stron świata, od większej lub mniejszej przepuszczalności gruntu położonego wyżej podstawy fundamentu i t.d.

Dla uniknięcia wyników przemrażania należy zawsze zagłębiać podstawę fundamentu poniżej granicy przemrażania.

Przeciętnie powinno się przyjmować na południu Polski od 0,8 do 1,0 m., na północy - od 1,2 do 1,5 m.

Na wschodzie przemrażanie jest większe niż na zachodzie kraju.

Głębsze przemrażanie zdarza się rzadko, chociaż w czasie zimy 1923/9 roku rury wodociągowe w Warszawie zamrażały na głębokości do 2 m.

Budowle monumentalne, jak na przykład filary i przyczółki mostowe zakładamy z zapasem na głębokości co najmniej 2 m.

W budownictwie prywatnem często nie ma zrozumienia, że przemrażanie jest przyczyną mnostwa późniejszych defor-

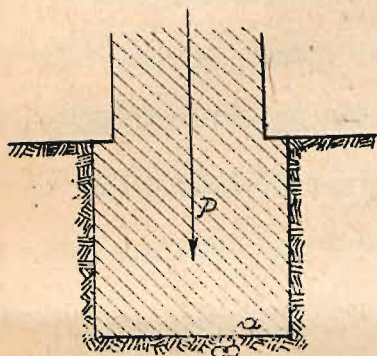
macji budowli: a więc częstokroć spotykamy parkany zyg-
zakowate, genki, które się tak podniosły, że drzwi wy-
chodzące na nie, nie dają się otworzyć, pęknięcia murów
po kilku latach itp.

Prócz bezpośredniego działania mrozów w razie przemar-
znięcia gruntu pod fundamentem, zdarzają się wypadki szko-
dliwego działania zmarzniętego gruntu, znajdującego się
wokoło fundamentu, jeżeli tym gruntem jest glina, odzna-
czająca się silną lepkością, czy przyczepnością. Glina
taka może o tyle mocno przylgnąć do boków fundamentu,
że zmieniając się w objętości w czasie zamarzania, jest
w stanie podnieść za sobą budynek do góry. Dla zabezpie-
czenia się przed taką możliwością wykopujemy wzdłuż
fundamentu rów, który zapełniamy piaskiem, żużlem lub
gruzem / prawa strona rys. 6-go/, albo też poszerzamy
dół fundamentowy o jakie 10-20 cm., od strony gruntu
obkładamy go deskami, a przestrzeń pomiędzy deskami i
fundamentem zasypujemy piaskiem. Jeżeli fundament ma
płaszczyzny pochyłe, to niebezpieczeństwo podniesienia
budowli, spowodowane przyczepnością, przeważnie odpada.
Skupy, szczególnie drewniane, wystarczy otoczyć desz-
czułkami.

Przemarzanie gruntu najczęściej wtedy daje się we zna-
ki, gdy budynek został wyprowadzony pod dach, ziemia z

z piwnic wybrana, a piwnice nie zostały zabezpieczone przed mrozem. W tym wypadku grunt pod fundamentami może przemarznąć od środka, od strony piwnic, gdzie grubość warstwy ziemnej nad podstawą fundamentu jest mniejsza.

3. Usuwanie się gruntu



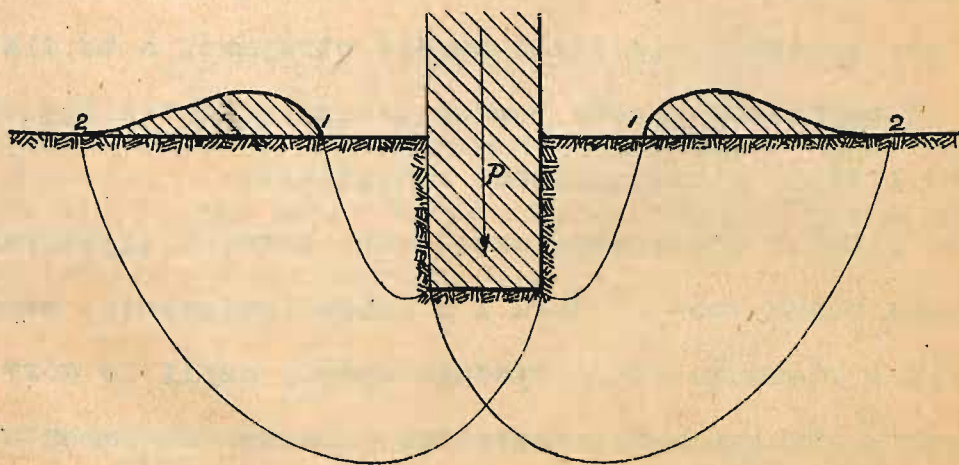
Jeżeli pod wpływem P , wspólnego ciężaru fundamentu i budowli, podstawa fundamentu wywiera ciśnienie na grunt, to ciśnienie to przekazuje się przedewszystkiem cząsteczkom gruntu, położonym bezpośrednio pod fundamentem.

Jeżeli rozpatrywać taką cząsteczkę a - to ciśnienie, wywierane na nią przez fundament, zostanie przez nią przekazane niżej położonym cząsteczkom warstwy b , a te kolejno przekażą je warstwom następnym / lewa strona rys. 7 /. Gdyby środowiskiem była ciecz, a nie grunt, toby ciśnienie rozchodziło się równomiernie we wszystkich kierunkach i, po podniesieniu się poziomu cieczy, nastąpiłby niezwłocznie stan równowagi. Tu jednak ciśnienie wywierane jest na grunt, który stanowi środowisko, złożone nie z atomów lecz z cząsteczek-ziaren, wielokrotnie większych. Tarcie w tem środowisku jest też

w porównaniu z cieczą olbrzymie. Tarcie to sprawia, że cząsteczki nie zapełniają całkowicie przestrzeni i pod wpływem wywieranego na grunt ciśnienia mogą być uszczelnione. Takie uszczelnianie cząstek w gruntach ziemistych przejawia się w postaci osiadania budowli bez naruszenia struktury gruntu. Gdy jednak ciśnienie przekroczy pewną wielkość, różną dla rozmaitych gruntów, stan równowagi zostaje zakłócony a cząsteczki zaczynają się przesuwac, przewyżając opór tarcia. Oczywiście ruch cząsteczek odbywa się w kierunku najmniejszego oporu.

Jeżeli rozpatrywać dwie warstewki - a - i - b - i przypuścić, że górna warstewka, przylegająca do podstawy fundamentu, jest nieruchoma, to każda jej cząstka, oparta na dwóch, dla przykładu, cząstkach warstwy: b , stara się te dwie cząstki zepchnąć w dół lub rozepchnąć. Ponieważ ruchowi w dół przeciwstawia się osiągnięta granica uszczelnienia gruntu, cząsteczki usuwają się na boki. A więc dwie cząsteczki - b , naciskane przez cząsteczkę - a , będą dążyły do przesunięcia się jedna na prawo, druga na lewo. W zależności od położenia cząstki - a - pod fundamentem, różne będą możliwości ruchu dla cząstek - b . W środku fundamentu obydwie cząstki będą miały jednakowa możność usunięcia się na boki. Jeżeli zaś cząstka - a - zajmie którekolwiek boczne położenie, na przykład z prawej strony fundamentu, to prawa cząstka

- *b* - będzie mogła się usunąć na prawo, lewa zaś będzie naciskana przez cząsteczki dalej leżące i nie tylko nie będzie mogła usunąć się na lewo, ale pod ciśnieniem, idącym z lewej strony, również może być przesunięta na prawo. Im bardziej ku krawędzi będzie zbliżona rozpatrywana cząstka, ten ciśnienie skierowane w prawo będzie w warstewce - *b* - większe, dzięki sumowaniu się cząsteczkowych ciśnień / prawa strona rys. 7/. Wreszcie poza krawędzią fundamentu cząsteczki gruntu napotykają opory: największy dla ruchów skierowanych w dół, mniejszy dla ruchów skierowanych w bok, a najmniejszy - w kierunku górnym. To też gdy po przekroczeniu granicy uszczelnienia, rozpocznie się ruch cząsteczek gruntu, odbywa się on wzdłuż odgiętych ku górze krzywych usuwowych. Oczywiście ruch ten jest znacznie więcej skomplikowany od opisanego tu ruchu cząsteczek w jednej oderwanej warstewce. Komplikacje tego ruchu powstają z powodu niejednorodności gruntu, a nawet, gdy grunt bywa prawie jednolity, ruch cząsteczek odbywa się nie tylko w jednej warstewce, lecz w całym szeregu warstewek jednocześnie, przyczem ruchy cząsteczek w sąsiednich warstewkach wywierają na siebie wzajemnie wpływ.



Krzywe usuwowe, wzdłuż których odbywa się ruch cząsteczek, zawarte są między dwiema parami krzywych obwodowych, zaczynających się u krawędzi podstawy fundamentu. W każdej parze jedna wychodzi na zewnątrz fundamentu i zawraca wprost do góry ku powierzchni terenu, druga zaś skierowana jest ukośnie w dół i dopiero po wyjściu poza obręb rzutu pionowego fundamentu zawraca ku górze, tworząc z pierwszą zarys jakby otwartego ku górze rogu. Przesuwające się między temi krzywymi usuwowymi cząsteczki gruntu tworzą na powierzchni terenu wałek z każdej strony fundamentu aż do nastąpienia równowagi.

Do doskonałej ilustracji ruchu cząsteczek otrzymał prof. Kurdiumow, fotografując przez szklaną szybę przekrój piaszczystego gruntu, do którego z góry wtlaczał obciążenie.

żany klocek. Jego doświadczenia dały jednak tylko ogólne pojęcie o zachowaniu się przeciążonego gruntu, wyników zaś ściślejszych nie udało mu się otrzymać, a to dlatego, że pogrążany klocek pomimo starań odchyłał się od pionu i dawał nierównomierne obciążenia.

Jak widać z powyższego cząsteczki gruntu, napotykając w swoim ruchu opór od dołu i z boków fundamentu, zwracają się w kierunku najmniejszego oporu, czyli do góry. Zatem im głębiej będzie założona podstawa fundamentu, tem większy będzie opór przeciw ruchowi cząsteczek do góry. Kiedy zaś nastąpi unieruchomienie cząsteczek? Nastąpi ono wtedy, gdy ciężar gruntu, znajdującego się ponad poziomem podstawy fundamentu, zrównoważy się z siłą wyporu cząsteczek. Z czego wynika, że przy pewnej głębokości założenia fundamentu ruchu cząsteczek już być nie powinno.

Badali tę sprawę Rankine i Pauker. Na rys. 8-ym przedstawiony jest sposób rozumowania Paukera. AB jest to słup ziemi, co do ciężaru równoważny ciężarowi budowli, przy tej samej wielkości pola podstawy. Przeliczona na ciężar jednostkowy ziemi, zastępcza wysokość tego słupa będzie H . Jeżeli przypuścić, że część - A - tego słupa oddzieli się i zacznie spełzać razem ze znajdującym się pod nią klinem odłamu, tedy parcie czynne, wywierane na płasz-

czynną pionową, stanowiącą dalszy ciąg lewego boku słupa A równa się:

$$Z_c = \frac{\sigma x}{2} (x + 2H) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Przesunięciu się tej płaszczyzny nazewnątrz przeciwstawia się bierny odpór klina ziemi, obciążonego bryłą gruntu $AGFK$ o wysokości $-h$.

$$Z_B = \frac{\sigma x}{2} (x + 2h) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Równowaga nie zostanie naruszona, jeżeli: $\max Z_c \ll \min Z_B$ skąd, po podstawieniu powyższych znaczeń dla Z_c i Z_B oraz usuwając $-x$ - otrzymujemy:

$$h \geq H \cdot \operatorname{tg}^4\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Jest to wzór Paukera, który daje wielkości zagłębienia fundamentu ze znacznym zapasem, pomimo że wielkości te są przeważnie mniejsze od głębokości przemarzania gruntu.

Wzór Paukera matematycznie jest przewidkowy, bowiem dla skały, gdzie usuwanie się jest wykluczone i $\varphi = 90^\circ$ otrzymujemy $h=0$, czyli, że zagłębienie fundamentu jest zbędne, dla cieczo zaś, dla której $\varphi=0$, otrzymujemy $h=H$, czyli zasadę Pascala.

Wszystko wskazuje na to, że przesuwaniu się płaszczyzny AG przeciwstawia się nie tylko dolny klin z bryłą

AGFK, lecz również boczny klin FBK, Uwzględniając wpływ tego bocznego klina, prof. Jankowski opracował nowy wzór:

$$h = \frac{H}{2} \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

dający wielkość

ci dwa razy mniejsze od wzoru Paukera.

Prof. Bakzecki opracował inny wzór, w którym uwzględnił wpływ szerokości podstawy fundamentu $2b$ -

$$h = H \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - 2b \frac{1 - \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}{2 \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}$$

Wreszcie turecki uczony Terzaghi wyprowadził jeszcze inny wzór, uwzględniający szereg dodatkowych czynników, lecz dla praktycznego zastosowania nazbyt skomplikowany.

Pomimo, że wzór Paukera daje naogół wyniki przesadzone, w praktyce używany bywa zwykle z dodatkowym współczynnikiem bezpieczeństwa. Dla budowli inżynierskich stosuje się głębokość posadowienia $h' = 1,5h$. O ile architekci nie korzystają ze wzoru Paukera, to w domach podpiwniczonych zagłębienie fundamentów od strony piwnic bywa częstokroć niedostateczne, wskutek czego następuje osiadanie murów, pękanie ich oraz wypieranie gruntu z pod fundamentów do piwnic. Zwykle dla 4-5 pięter, zagłębienie w gruncie od strony piwnic według Paukera

wystarczy $h = 0.40$ do 0.60 m.

4. Wnioski.

Streszczając rozumowania dotychczasowe, głębokość założenia fundamentu określamy w sposób następujący:

Ponieważ grunt nie powinien przemarzać, badamy, czy na głębokości przemarzania, największej dla danej miejscowości, grunt jest dostatecznie wytrzymały. Grunt taki może zalegać płycej lub też głębiej. Należy więc skalkulować, czy opłaci się lepiej dać węższy fundament lecz głębiej, czy też szerszy fundament, ale płycej. Tu należy mieć na uwadze kąt nachylenia bocznych powierzchni fundamentu.

Dokonawszy wyboru należy sprawdzić wzorem Paukera, czy zagłębienie jest dostateczne ze względu na usuwanie się gruntu.

Jeżeli zatem mamy trzy głębokości:

h_1 - ze względu na przemarzanie

h_2 - ze względu na osiadanie

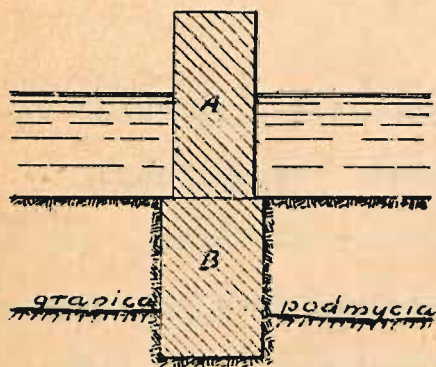
h_3 - ze względu na usuwanie się gruntu

to głębokość posadowienia powinna czynić zadość nierów-

ności:

$$H > \begin{matrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{matrix}$$

Przy budowlach, otoczonych wodą należy oprócz tego spraw-



dzić, czy nie nastąpi pod-
mycie, i czy to podmycie nie
zaszkodzi stateczności bu-
dowli.

A - filar mostowy,

B - jego fundament.

