

Zsaluzat, Dr. Hegedűs István

A monolit építési mód alkalmazásához olyan zsaluzat készítése szükséges, amely a tervezett alakban tartja a bedolgozás során a betont, és megfelelő megtámasztást ad neki, amíg a szilárdulás annyira előre nem halad, hogy maga a szerkezet alaktartóvá válik. Fontos szerepe még a zsaluzatnak, hogy meggátolja a hidratációhoz szükséges víz elszívását a betonból, ill. megakadályozza a frissbeton legkülső rétegének a beton egészéhez képesti erős lehűlését. Voltaképpen a zsaluzat csak a kisegítő szerkezetnek a betonnal érintkező része, de szokás az egész rendszert is zsaluzatnak nevezni. Ebben az értelemben a zsaluzat szerepe kiegészülhet azzal, hogy munkaterületet ad az építési tevékenység számára.

A függőleges felületek kialakításához a keresztmetszetet körbefogó zsaluzatot alkalmazunk, a vízszintes felületek közül csak az alátámasztást is szolgáló felületet és a felület peremeit zsaluzzuk. Ferde felületszerkezet felső határfelülete az alkalmazott beton konzisztenciájától függő meredekségen túl szintén megtámasztást igényel, ilyenkor két oldali zsaluzatot kell alkalmaznunk.

A zsaluzatokat a következő szempontok szerint osztályozhatjuk:

- Hagyományos zsaluzatok, ill. iparszerű zsaluzási rendszerek
- egyedi zsaluzatok, ill. ismételten felhasználható táblás zsaluzatok
- fix zsaluzatok, ill. mozgatható zsaluzatok,
- különleges (felületképző, kéreg-, stb.) zsaluzatok.

Hagyományos zsaluzatok

A zsaluzat és a zsaluzatot megtámasztó állványzat hagyományos anyaga a fa. Az egyedi zsaluzatok elemei általában 12-24 mm-es fűrészelt „szőrösdeszkák,” nagyobb teherbírás-igény esetén pallók. Látszóbeton elemek esetén a zsaluzó felületet és az éleket gyalulással teszik simává.



A hagyományos zsaluzat jellemzően hierarchikus szerkezet. Az elkészítendő vasbetonszerkezet alakját a zsaluzat elemeinek egymáshoz illesztett síkjai határozzák meg, az elemek térbeli helyzetét és egymáshoz illeszkedését megfelelő merevségű rögzítő hevederek, -járomok, -keretek, mintaívek („romenádok”) biztosítják, ezeket az állványzat támasztja alá. Maga az állványzat is hierarchikus szerkesztésű, térbeli rúdszerkezet. A zsaluzat elemeit szögezéssel rögzítik a hevederekhez, mintaívekhez, ezekhez általában old-

ható és finoman beállítható kapcsolattal csatlakozik az állványzat. Az állványzat elemei az ácsszerkezetek körében megismert kapcsolatokkal és kapcsolóelemekkel csatlakoznak egymáshoz.

A lemezek, bordás lemezek és gerendák hagyományos állvány- és zsaluépítésének szokásos sorrendje a következő: az állványalapok kialakítása, a székállások („stolicák”) összeállítása, felállítása, andráskeresztes kimerevítése, süveggerendák elhelyezése, a bordazsaluzat merevítő jármvainak elhelyezése, a lemezsaluzat fenékmerevítőinek elhelyezése, a zsaluhéj összeállítása, elhelyezése.

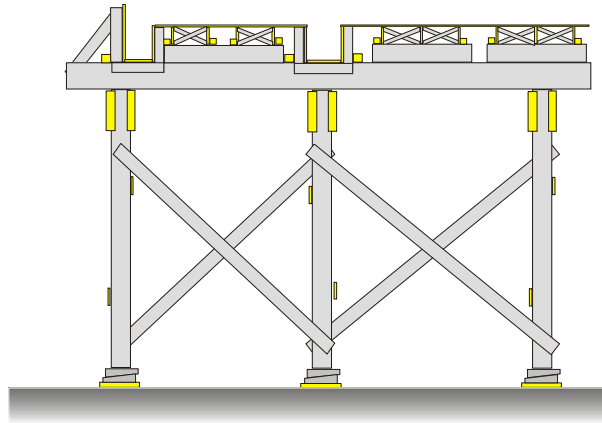
Az állványok alapozása megfelelő felszíni terhelhetőségű talaj esetén a talajra (ill. szerelőbetonra) fektetett palló alátét, gyenge teherbírású talaj, ill. nagy terhelésű állvány esetén megfelelően méretezett beton, vasbeton alaptest. A székállásokat legtöbbször gömbfa vagy bárdolt, fűrészelt állványdúccok és „kantolt” (azaz élükre fordított) palló fogópárok vagy alkotják. Ezeket az átadódó terhek felvételére alkalmas módon kialakított ácsszerkezeti csomópontokban kapcsolják egymáshoz, a kapcsolatokat fűzőelemekkel vagy ácskapcsokkal rögzítik. Az egymással párhuzamos székállásokat a tetejükön elhelyezett süveggerendák kötik össze. Az állványzatot mind a székállások síkjában, mind azokra merőlegesen a dúccokhoz kapcsolt deszka andráskeresztezéssel merevítik. A többszintes állványokat úgy építik, hogy az elkészült alsó szint süveggerendáira újabb székállásokat állítanak. Ilyenkor törekedni kell arra, hogy a felső székállások terhei közvetlen nyomással, azaz hajlítás és nyírás közbeiktatása nélkül adódjanak az alsó székállás dúccaira. Ez gyakran csak úgy oldható meg, ha az alsó szint süveggerendáinak megtámasztását ferde bakdúccokkal egészítjük ki. Ilyen megoldásra akkor lehet szükség, ha az alsó székállások távolságát keresztező út, árok, stb. vagy munkagépek, depóniák helyigénye miatt az optimálisnál nagyobbra kell felvennünk.

A székállásokat úgy kell az alapozásra állítani, hogy lehetőség legyen az egész állványzat néhány cm-rel történő fokozatos lesüllyesztésére. Erre azért van szükség, mert a beton megszilárdulása után is az állvány viseli a szerkezet terheit, mindaddig, amíg ki nem alakulnak a szerkezetben a „saját” teherviseléséhez tartozó rugalmas lehajlások. Az állvány tehermentesüléséhez tehát olyan nagyságú lesüllyesztés szükséges, amely nagyobb, mint az állvány rugalmas összenyomódásának és a szerkezet rugalmas lehajlásának összege. Az állvány leeresztése nélkül megkezdett szakszerűtlen bontás egyes állványelemek törésével, sőt az elkészült szerkezet károsodásával fenyegető, felettből bal- esetveszélyes művelet. A leeresztéshez használt szerkezetek legtöbbször az állványalap és az állványdúccok közé elhelyezett önzáró keményfa ékpárok. Nagy támaszközű hajlított szerkezetek esetén előfordulhat, hogy külön leeresztő szerkezetet iktatnak be a nagy lehajlású szerkezeti elemek zsaluzatát merevítő elemek és az állványzat közé. Ilyenkor elengedhetetlen egy részletes leeresztési terv kidolgozása.

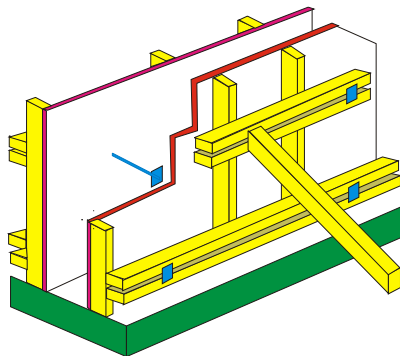
Az állvány (legfelső) süveggerendáinak szintjét úgy kell felvenni, hogy azzal – a süveggerendákra támaszkodó zsaluzattartó magasságát és a zsalu héjazatának vastagságát számításba véve – minél pontosabban megközelítsük a szerkezet alsó felületének tervezett szintjét. Fontos tudnunk, hogy a különböző előjelű magassági mérettűrések lényegesen különböznek: a negatív eltérések alátételek alkalmazásával egyszerűen korrigálhatók, a pozitív eltérések esetleg csak az egész állvány visszabontásával. A leeresztő szerkezetet nem célszerű az állvány magassági hibáinak a kiküszöbölésére használni, mert fennáll annak a veszélye, hogy kimerítjük a szerkezet mozgási lehetőségét, és az állványzat a leeresztés során nem tehermentesül.

A lemezek zsaluzatát a peremeken, ill. a lemezmezőben alkalmazott bordák zsaluzatával együtt készítik el, ezért a süveggerendák szintjét a bordák alsó felületének szintje határozza meg. Bizonyos bordamagasság fölött ennek az a kellemetlen következménye, hogy a lemez zsaluzatát magasabban kell kialakítani, mint ahová akkor kerülne, ha a zsaluzattartó „kantolt” deszka- vagy pallósort közvetlenül a süveggerendákra állítanánk.

Az alábbi vázlat egy gerendákra támaszkodó lemez hagyományos kialakítású állványzatának és zsaluzatának részletét mutatja. A leeresztő szerkezetet a székállások dűcszlopainak talpánál elhelyezett kettős ékek alkotják. A bordák önhordó függőleges zsaluzatát a süveggerendára támasztott pallók alkotják, a lemezzsaluzatot egymáshoz merevített „kantolt deszkasor alkotja. A lemezzsaluzat fölemelését a süveggerendára helyezett betétfákkal oldották meg. A zsaluhéj összeállítását mindig a bordák zsaluzatának összeállításával és rögzítésével kell kezdeni.



Az alábbi vázlaton egy fal hagyományos zsaluzatának jellemző elemeit mutatjuk meg. A fal zsaluzatát általában a már meglévő és kellő szilárdságú szerelőbeton alzatra, többlépcsős betonozás esetén a már elkészült falszakaszhoz is hozzátámasztott állványra állítják.



A zsaluzat magasságát az elkészítendő fal magasságán kívül számos tényező befolyásolhatja. Nagy magasságú szerkezetek betonozásánál fenyegető technológiai hiba a beton ejtészori szétosztályozódása. Ezt falak esetén vagy úgy akadályozzák meg, hogy az egyik (esetleg mindkét) oldali zsaluzatot folyamatosan, néhány arasznyi rátartással a be-

tonozás magasságának növekedését követve rögzítik az elkészült állványzathoz, vagy úgy, hogy a zsaluzaton a megengedhető ejtési magasságnak megfelelő függőleges távolságokban ún. betonozó ablakokat alakítanak ki, amelyeket elzárnak, ha a bedolgozási magasság az ablak alsó pereméhez ér.

Magas falak esetén tekintettel kell lenni arra, hogy a körbefogott frissbeton súlyának jelentős része súrlódással a zsaluzatra terhelődik. Ennek a tehernek az elviselése szempontjából előnyös, ha a fal zsaluzatát függőleges irányú deszkákból állítják össze, mert a fa nyomószilárdsága szálirányban lényegesen nagyobb, mint arra merőlegesen. Ugyancsak előnyös a függőlegesen futó deszkázat erősen tagolt, törtvonalú, vagy görbült falkeresztmetszet esetén, mert így az iránytörések és görbületek jobban követhetők. Hátránya viszont a függőleges deszkákból álló zsaluzatnak, hogy nem teszi lehetővé a bedolgozási szinthez igazodó folyamatos magasítást, amely vízszintes deszkázatnál viszonylag egyszerűen megoldható. Előnyeik és hátrányaik miatt a gyakorlatban mindkét változatot gyakran alkalmaznak, sőt, az sem ritka, hogy az egyik oldali zsaluzatot függőlegesen, a másikat vízszintesen futó deszkázattal alakítják ki.

A zsaluzatnak az alzaton, ill. a zsaluzat deszkáinak egymáson való egyenetlen, hézagos felfektetése nemcsak a frissbeton kifolyása miatt okoz gondot, hanem statikai problémát, esetleg a zsaluzat tönkremenetelét is okozhatja.

A frissbeton oldalnyomása miatt meglehetősen nagy vízszintes erők terhelnek a zsaluhéjat megtámasztó szerkezetekre. Ezek felvételének leggazdaságosabb módja a kétoldali állványzat egymáshoz kapcsolása. Ebben az esetben sem mellőzhető a zsaluzat megtámasztása legalább az egyik oldalon, de ezt a megtámasztást elegendő a frissbeton nyomásánál jóval kisebb terhet jelentő szélterhekre és a szerkezet esetleges alakhibáiból, elferdüléséből adódó terhekre méretezni.

Vannak olyan szerkezetek, amelyeknél – pl. vízzárósági okból - nem oldható meg kétoldali zsaluzatot egymáshoz kapcsolása. Ilyenkor mindkét oldalon fel kell venni a frissbeton nyomását, és a bedolgozási technológiát kell úgy megválasztani, hogy minél kisebb oldalnyomások lépjenek fel. Ennek lehetőségeire a betonnyomások részletes analízise ad útbaigazítást.

Az egyedi zsaluzat céljára felhasznált deszkát egyéb építési munkánál nemigen lehet újból felhasználni, zsaluzatkénti újrahasznosítása is csak alárendelt szerepű szerkezeteknél lehetséges. Valamivel kedvezőbb a zsaluzatot megtámasztó állványzatok újrahasznosításának a lehetősége, ennek ellenére a hagyományos építésű vasbeton műtárgyak építési költségeinek mintegy harmadát a zsaluzat és az állványzat költségei adják.

Ez az oka annak, hogy mind a hagyományos állványzat, mind a hagyományos zsaluzatok alkalmazása erősen visszaszorult. A monolit építés speciális technológiáit nagyrészt az egyedi zsaluzat és hagyományos állványzat költségigényének a csökkentése céljából dolgozták ki. Nem mellőzhető azonban az egyedi zsaluzat és hagyományos állványzat alkalmazása a bonyolult alakú, ill. görbült határfelületű szerkezetek esetén.

Táblás zsaluzatok

Az újrahasznosítás igényével kialakított zsaluzatok fa fém vagy műanyag zsaluzó elemek. Műanyag zsaluzóelemek alkalmazására elsősorban a magasépítésben találunk példákat, a műtárgyépítésben ezek használata egyelőre elhanyagolható.

A fa zsaluzótáblák alkalmazását a lemezek és falak építésében egyrészt a faanyag ismételt felhasználása, másrészt a helyszíni ácsmunka időigényének csökkentése tette in-

dokolttá. A zsalutáblák kezdetben többnyire horganyzott acél pántokkal és acélkerettel erősített gyalult fatáblák voltak, amelyeket hagyományos állványszerkezettel támasztottak meg, ill. acélszerkezetű kapcsoló elemekkel fogtak egymáshoz.

A táblák faanyagát az átázás okozta erős vetemedést és a szilárduló betonhoz való hozzákötést mérséklő impregnáló, ill. bevonó anyaggal kell kezelni. A falelemek és födémelek zsaluzásához használt táblák méretét úgy választják meg, hogy az összeszerelés során két ember mozgatni tudja a táblákat, a megtámasztások sűrűségét az a kritérium határozta meg, hogy ne léphessen föl számottevő nagyságú alakváltozás a frissbeton súlyából, ill. nyomásából. Kíméletes és szakszerű kezelés esetén a fémkeretes fa zsalutáblák 5-10 alkalommal használhatók fel. A tartósságuk kb. kétszeresére növelhető, ha a táblák beton felőli oldalát bádoglemezzel vonják be. Ez szükséges is ahhoz, hogy a táblák gyártásának viszonylag magas költsége megtérülhessen.

Hosszabb élettartamúak a fatábláknál a rétegelt lemezből, ill. műanyag kötőanyagú farostlemezből készített táblák. Ezek alapanyagának a felületegységre vetített költsége magasabb, mint a fűrészelt deszkáé, előnyösebb viszont a helyszíni munkaigényük, szakszerű használat esetén tartósabbak a deszkaszálakból összeállított tábláknál, simább betonfelületet eredményeznek azoknál, így sok helyen kiszorították a fűrészelt deszkából készült zsalutáblákat.

Szinte korlátlan számú ismételt felhasználást biztosítanak a fémből – régebben kizárólag acélból, jelenleg egyre elterjedtebben alumíniumból - készült zsalutáblák amelyek egyéb szempontból is jobban megfelelnek a műtárgyépítés igényeinek. Ilyen szempontok a nagyobb méretpontosság, jobb mérettartás, nagyobb merevség és terhelhetőség, stb. Hátrányként említhető a magas gyártási költség, amelynek megtérülése csak sokszori felhasználás esetén biztosított, továbbá az, hogy a fémtáblák hőszigetelése lényegesen gyengébb a fa és a farostlemez tábláknál.

A zsaluzat újrahaznosításának követelménye visszahat a szerkezettervezésre is: a szerkezetek befoglaló méreteit úgy célszerű megválasztani, hogy zsaluzata elkészíthető legyen a rendelkezésre álló zsalutábla-választék „forgatásával”. Nagy jelentősége volt ezért az építési modul-koordinációnak. Magyarországon az állami építőipari vállalatok működése idején valóban komoly törekvés volt egy egységes építőipari modulrendszer kialakítására. Ennek kézzel fogható eredményei elsősorban a magasépítésben, főleg az előregyártott szerkezetek alkalmazási körében mutatkoztak (pl. a 30 cm-es „kismodul” az előregyártott gerendák névleges támaszközeiben és tengelytávolságában, a 3.0 m-es „nagymodul” az előregyártott csarnokok támaszközeiben és keretállás-távolságaiban). Mivel az előregyártás a mélyépítési feladatok körében nem tudott igazán gyökeret verni, az egységes építőipari modulkoordináció törekvései a mélyépítésben kevés eredményt hoztak.

Zsaluzási rendszerek

A zsalutáblák alkalmazása voltaképpen az első lépés volt abba az irányba, hogy a hagyományos zsaluzás helyszínen összeálló hierarchikus rendszerét integráltabb, kevés, gyorsabban elvégezhető helyszíni munkát igénylő rendszerrel váltsák ki. A zsalutáblák használatának térnyerésével egy időben megfigyelhető volt a hagyományos állványzatok visszaszorulása is. Előbb a nagy építőipari vállalatok találták gazdaságosnak magasépítési „tömegfeladataik” elvégzésében a zsalutáblák használatához és a helyi kötöttségekhez egyaránt jól illeszkedő, könnyű acélszerkezetű rácsos gerendákból és állítható magasságú

acéloszlopokból összeállított állványrendszerek (HÜNNEBECK, PEINER, stb.) kifejlesztését, gyorsan kiderült azonban, hogy ezek a rendszerek csekély kiegészítéssel szinte az egész építőiparban gazdaságosan alkalmazhatók. Széleskörű elterjedésükre ösztönzőleg hatott az előregyártás igényei szerint kifejlesztett építőipari emelőgépek más célú alkalmazása, a transzportbeton egyre nagyobb mértékű felhasználása és a betonszivattyús bedolgozás kifejlesztése is. A magas szinten gépesített, egyenletesen jó minőséget biztosító, termelékeny módszerek szinte új életet leheltek a kifulladásban lévő monolit építési technológiába, és hamar egyeduralgokká váltak a mélyépítésben is.



A medencék és nagy vízépítési műtárgyak építésében az önhordó nagytáblás zsaluzási rendszerek terjedtek el. A zsalutáblák ebben a rendszerben nagy lemez- és tárcsame-revséggel bíró síkelemek, amelyek egymáshoz kapcsolásával külön állványzat alkalmazása nélkül önhordásra alkalmas térbeli erőjátékú szerkezetek alakíthatók ki.

Hazánkban is ismert zsaluzási rendszerek. DOKA, OUTINORD, SYMONS, NOE, PERI, stb.

Különleges zsaluzatok

A zsaluzatok speciális csoportját alkotják a textúrált felületképző zsaluzatok. Ezeket olyan látszóbeton szerkezetek zsaluzására alkalmazzák, amelyeknek építészeti vagy funkcionális okokból speciális felületi textúrát kívánnak adni. A „megmozgatott” felület fény-árnyék-játéka a legalkalmasabb arra, hogy elfedje a betonozási rétegek, réteghatárok eltérő színeiből adódó, sima felületen zavaró hatású egyenetlenségeket. A leggyakoribb a felület lizénás kialakítása, ezt a zsalutábla belső oldalára erősített trapéz keresztmetszetű lécezéssel érik el. (A trapéz alakra azért van szükség, hogy a megszilárdulás után el lehessen távolítani a zsalutáblát a felületről.) Ugyancsak gyakori, bár ritkán jár a kívánt eredménnyel – hullámos keresztmetszetű ÜPE betétreteg alkalmazása. Igényes felületképzés céljára olyan fém zsalutáblákat szoktak alkalmazni, amelyek felületén sajtolással alakítják ki a kívánt textúrát.

Ugyancsak a különleges zsaluzatok közé tartoznak a beton, ill. vasbeton zsaluzóelemek és kéregzsaluzatok. Ezek úgy látják el a zsaluzat szerepét, hogy a beton megszilárdulása után a szerkezet részévé válnak. Ilyen kéregzsaluzat pl. a házilagos építésben a legutóbbi időkig elterjedten használt azbesztcement cső, amelyet önhordó oszlopzsalu-

zatként használtak. Az azbesztcement termékek alkalmazását az azbesztszálak rákkeltő hatása miatt állították le.

A mélyépítésben legismertebb beton zsaluzóelemek a zsalukőnek nevezett üreges betonelemek, amelyeket elterjedten használnak alárendelt statikai szerepű, 2-3 m magasú kerítések és támfalak építésére. A kötésben rakott zsalukő elemek üregei függőleges kürtöket alkotnak, ezekbe helyezhető el a függőleges falvasalás, amelynek a betonnal való együttműködését a kürtők kibetonozásával lehet elérni.

A zsaluzatok tervezése

A zsaluzatok tervezését rutinszerű építési munkák esetén nem a szerkezettervezők, hanem az építéshelyi szakemberek szokták elvégezni. Ennek egyrészt az az oka, hogy ilyen esetekben a tervezés nem vet fel az építéshelyi szakemberek felkészültségét meghaladó elméleti problémákat, másrészt az, hogy a kivitelező lehetőségeinek ismeretében egyszerűbb a helyszínen eldönteni, melyik a leggazdaságosabb a szóba jöhető megoldások közül.

Más a helyzet, ha új építéstechnológiák kipróbálásáról, vagy a rutinszerű építési feladatok közé nem sorolható szerkezetek állványozásáról és zsaluzatáról van szó. Ilyenkor a statikai terv részét képezik az állványtervek és a zsaluzat tervei is. Ezek erőtani tervezésében központi szerepe van a zsaluzatra ható betonnyomás figyelembevételének.

A zsaluzatra ható nyomás figyelembevétele

Ha a frissbetont folyékony anyagnak tekintjük, abban a nyomás minden pontban, minden irányban a hidrosztatikai nyomásviszonyoknak megfelelően alakul, azaz a zsaluzatot a frissbeton felszínétől számított z mélységben

$$p_v = z\rho$$

nagyságú, a felületre merőleges nyomás terheli, ahol ρ a frissbeton térfogatsúlya. Ez a nyomás a szilárdulás során lényegtelenül változik, mert a nyomásviszonyok képletesen szólva „befagynak” a szerkezetbe. Ennek az a magyarázata, hogy (az ún. plasztikus zsugorodás lejátszódása után) a frissbeton kötési térfogatváltozása még kellően merev zsaluzat és állványzat esetén is elhanyagolhatóan kicsiny ahhoz a térfogatváltozáshoz képest, amely a bebetonozandó térben kialakul a frissbeton nyomása miatt a zsaluzatban és az állványzatban fellépő rugalmas alakváltozások során.

Ennek a nyomásnak a felvétele nemigen jelent problémát pl. a gerendák függőleges zsaluzatát megtámasztó jármok méretezésénél, de emelet-magasságú oszlopok és falak esetén hatalmas vízszintes erők adódnak, amelyek felvétele szinte lehetetlen.

Szerencsére, a valóságban sokkal kedvezőbb a helyzet, mint amit a hidrosztatikus nyomáseloszlás feltételezésével adódó kép mutat. Ennek okai a következők:

- ha a frissbeton konzisztenciája eltér az „önthető”-től, akkor a viselkedése és a nyomásviszonyai is inkább a szemcsés anyagokéhoz nem a folyadékokéhoz hasonló, ezért a függőleges és a vízszintes irányú nyomás egymástól eltérő lehet,
- a frissbeton és a zsaluzat között fellépő súrlódás, ill. tapadás mérsékli mind a függőleges, mind a vízszintes nyomás nagyságát,
- ha a bedolgozási idő szilárdulási idővel összemérhető, a kialakulóban lévő szilárdság is befolyásolja a nyomásviszonyokat.

A betont – az egyszerűség kedvéért – kohézió nélküli szemcsés anyagként szokták vizsgálni, amelynek ϕ belső súrlódási szögét az ún. területi próba alapján veszik fel. A

zsaluzatba bedolgozott beton p_z függőleges és p_x oldalnyomásának arányáról fel lehet tenni, hogy az az aktív Rankine-féle állapotnak megfelelő

$$p_x = p_z \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$$

érték és a hidrosztatikus nyomáseloszlásnak megfelelő érték közé esik, leggyakrabban a

$$p_x = k_v p_z = p_z \tan(45^\circ - \varphi/2)$$

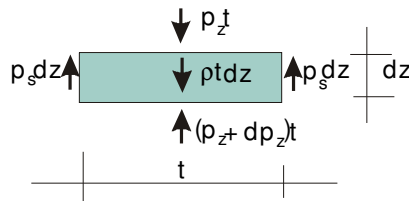
arányt szokták feltételezni.

Ez a redukció önmagában nem ad magyarázatot a számított és a valóságban megfigyelhető nyomások közti eltérésre. Vegyük ezért figyelembe a frissbeton és a zsaluzat között fellépő sűrűdés módosító hatását is.

Vizsgáljuk a frissbeton nyomásviszonyainak alakulását azzal a feltételezéssel, hogy a ρ térfogatsúlyú betont két, egymástól t távolságban fekvő függőleges sík határolja, amelyek

$$p_s = f p_x$$

nagyságú megoszló sűrűdő erő működik a feltételezett elmozdulással ellentétes irányban, azaz fölfelé. A sűrűdési tényező nagyságát a felület érdessége határozza meg, de nem vehetünk nagyobb értéket figyelembe $\tan \varphi$ -nél.



A z és a $z+dz$ síkokkal határolt egységnyi hosszúságú betonrétegre ható erők:

- a réteg felső és alsó felületén működő függőleges betonnyomás,
- a zsaluval érintkező függőleges felületeken működő sűrűdő erő
- és a réteg saját súlya.

- Ezeknek az erőknek a függőleges vetületi egyensúlya alapján a következő egyenlet írható fel:

$$p_z(z)t - p_z(z+dz)t + \rho t dz - 2 p_s dz = 0$$

Ebből az egyenletből $p_s(z)$ -t a $p_z(z)$ -vel kifejezve, majd a $p_z(z+dz) - p_z(z) = dp_z$ differenciált bevezetve és az egyenletet dz -vel elosztva – a következő elsőrendű, lineáris inhomogén differenciálegyenlet származtatható:

$$p_z(z) + \frac{t}{2fk_v} \frac{dp_z(z)}{dz} = \frac{\rho t}{2fk_v}$$

A $p_z(z)$ -re vonatkozó differenciálegyenlet megoldása – a $p_z(0) = 0$ peremfeltétel figyelembevételével

$$p_z(z) = \frac{\rho t}{2fk_v} \left(1 - e^{-\frac{2fk_v}{t} z} \right),$$

amelyből a zsaluzatra ható nyomás képlete:

$$p_x(z) = \frac{\rho t}{2f} \left(1 - e^{-\frac{2fk_v z}{t}} \right).$$

A megoldás diszkussziójához vezessük be a

$$p_{z_0} = \frac{\rho t}{2fk_v} \text{ és a } z_0 = \frac{t}{2fk_v}$$

mennyiségeket: p_{z_0} a képlet szerint a $p_x(z)$ diagram aszimptotájának megfelelő nyomás értéke, z_0 pedig az a mélység, ahol ez a függőleges nyomás lépne fel a súrlódás hatásának figyelembevétele nélkül. A nyomások értéke kb. a z_0 mélység háromszorosától már jó közelítéssel állandó, de nem tekinthető erős közelítésnek az sem, ha a 0 és a z_0 határok közt a súrlódás nélküli nyomásviszonyokat vesszük figyelembe, alatta pedig p_{z_0} értékét.

Ugyanilyen jellegű az oldalnyomások z szerinti változását mutató diagram is, így az oldalnyomásokról is feltehető, hogy a 0 és a z_0 határok közt a mélységgel arányosan növekednek, ez alatt konstansnak vehetők, amelyek értéke

$$p_{x0} = k_v p_{z0} = \frac{\rho t}{2f}.$$

A súrlódás nyomásmérséklő hatása annál jelentősebb, minél kisebb t értéke. Ez egyezik a szemléletünkkel, mert minél kisebb a vastagság, annál nagyobb a súrlódó felületeknek a frissbeton térfogategységére fajlagosított értéke. Várható ezért, hogy a súrlódás hatása méginkább érvényesül ha azt nemcsak a réteg két átellenes felületén, hanem a teljes határoló felületen figyelembe vehető. Valóban, ha a fenti vizsgálatot oszlopokra vonatkozóan végezzük el, a súrlódás jelentősebb mérséklő hatását mutathatjuk ki. Egy $D = 2R$ átmérőjű kör keresztmetszetre vonatkozóan a levezetés végeredményül a

$$p_x(z) = \frac{\rho R}{2f} \left(1 - e^{-\frac{2fk_v z}{R}} \right)$$

összefüggést kapjuk. Ez meg is felel a várakozásunknak, hiszen a z_0 -ra adódó

$$z_0 = \frac{R}{2fk_v}$$

mélység csak a fele a $t=2R$ vastagságú sávra adódó értéknek.

Ezeket a képleteket általános keresztmetszetre is alkalmazhatjuk, ha bevezetjük az

$$R_{eff} = \frac{2A}{K}$$

hatékony sugarat, ahol A a körbefogott keresztmetszetet, K a zsaluzott kerület hosszát jelöli. Négyzet keresztmetszet esetén R_{eff} éppen a négyzetbe írható kör sugarával egyenlő, elnyújtott téglalagnál a rövidebb oldal hosszához közeli érték.

A képletből az is kiolvasható, hogy növekszik a frissbetonban fellépő maximális nyomás, ha a súrlódási tényező csökken. Ezt a bedolgozásnál alkalmazott vibrátor és a vibrálás módszerének kiválasztásánál célszerű szem előtt tartanunk, mert a vibrálás alatt mind a belső, mind a külső súrlódási tényező majdnem nullára csökken. Ha a vibrátor teljesítménye a kívánatosnál nagyobb, ill. ha a vibrálás a zsaluzat nagy területére kiterjedő rezgést gerjeszt, a frissbeton nyomása a számítottnál lényegesen magasabbra növekedhet. Szakszerűtlen vibrálással szerencsétlen esetben az egész állványzatot „szét lehet vibrálni”!

Nem feledkezhetünk meg arról, hogy a súrlódásnak nemcsak igénybevétel-mérséklő, hanem igénybevétel-növelő hatása is van. Abból, hogy a frissbeton nyomása nem növekszik a mélységgel arányosan, hanem bizonyos mélységen túl állandónak is tekinthető, az következik, hogy az egymás fölötti frissbeton rétegek súly nem egymásra terhelődik, hanem a súrlódó erő közvetítésével a zsaluzatra. A zsaluzatot – és pl. falak esetén a zsaluzat közvetlen alátámasztását is – méretezni kell tehát olyan, a zsalusíkokban működő függőleges teherre, amelynek eredője közelítőleg a bezsaluzott beton-tömeg teljes súlya.

Ennek a vizsgálatnak az alapfeltevései annyiban térnek el a valóságtól, hogy mozdulatlannak tekintik a súrlódó felületeket, holott a zsaluzat - akármilyen mereven is van megtámasztva, - a felületi terhek hatására rugalmas alakváltozást végez. Ez az alakváltozás önmagában nem okoz jelentős módosulást a nyomáseloszlásban, ha a frissbeton a szemcsés anyagoknak megfelelő mozgással követni tudja a határoló felület kicsiny elmozdulásait. Jelentős eltérés adódhat viszont akkor, ha a betonozás korai fázisaiban bedolgozott rétegekben a szilárdulás megindul a betonozás befejeztéig. Ekkor a vizsgált betonréteg nem a teljes magasságában követi a zsaluzat elmozdulásait, hanem az alaktartáshoz elegendő szilárdsággal bíró részeken elválik attól. Nyilvánvaló, hogy ez a jelenség tetemesen – bizonyos esetekben nagyságrenddel – csökkenti a zsaluzatra és az állványzatra jutó oldalnyomás nagyságát.

A korai betonszilárdság oldalnyomás-mérséklő hatását nagy magasságú falaknál és tömbszerű szerkezeteknél úgy használhatjuk ki, hogy a betonozást viszonylag vékony, 20-30 cm-es vízszintes rétegekben végezzük. A bedolgozás sebességét úgy állítjuk be, hogy az egymásra kerülő rétegek közti kapcsolat még teljes értékű lehessen, de az alsóbb rétegek korai szilárdsága minél inkább figyelembe vehető legyen. Esetenként ez azzal jár, hogy a betonkeverés, ill. –szállítás teljesítményét vissza kell fogni.

Az állványzat méretezésénél a korai betonszilárdság oldalnyomás-mérséklő hatását úgy vehetjük a legegyszerűbben figyelembe, hogy a kötési idő és az előírt bedolgozási teljesítmény mérlegelésével megállapítunk egy z_{eff} mélységet, amelynél mélyebben a beton alaktartóságához szükséges szilárdságának megléte már biztonsággal feltehető. Ha ez a z_{eff} mélység nagyobb, mint a szerkezet magassága, a korai betonszilárdság hatására nem számíthatunk. Ha viszont kisebb annál, feltehető, hogy a zsaluzatnak a frissen bedolgozott beton oldalnyomásából származó többlet-alakváltozását a bedolgozási szinttől z_{eff} –nél mélyebben fekvő betonrészek már nem követik, azaz nem támaszkodnak a zsaluzatra. Ennek ismeretében az állványzatot egy a szerkezet teljes magasságán végigvonuló z_{eff} magasságú, fiktív mozgó teherre méretezzük, amelyen belül az oldalnyomások a korábbi levezetés szerinti $p_x(z)$ diagram 0 és z_{eff} közti értékeinek megfelelően alakulnak.

Ezen az elven alakították ki a mozgatható zsaluzási rendszereket, a kúszó- és a csúszózsalsalusi építési technológiát. Ezekről a csúszó, ill. kúszózsalsaluzattal épülő szerkezetekkel kapcsolatban szólunk részletesebben.

