

Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata

Segédlet ipari padlók geotechnikai és
statikai tervezéséhez, kivitelezéséhez



Geotechnikai Tagozat
FAP-2022/101-GT

Internal

Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata

**Segédlet ipari padlók geotechnikai és statikai
tervezéséhez, kivitelezéséhez**

**MMK FAP azonosító:
2022/101-GT**

Budapest, 2022. október

A sorozat szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának gondozásában, a 2022. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:

Dr. Móczár Balázs (témavezető)

Csorba Gábor

Gritsch Ákos

Kriston Gábor

Mihucz Tibor

Dr. Szendefy János

Dr. Szilágyi Katalin

Lektorálta:

Szilvágyi László

Kiadó:

Magyar Mérnöki Kamara

1117 Budapest, Szerémi út 4.

info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Ipari padlók, a Segédlet célja	8
2. Az ipari padlók bemutatása.....	9
2.1. Az ipari padlók szerkezeti részei és sajátosságai.....	10
2.2. Az ipari padlók általános típusai	11
2.2.1. Kisterhelésű ipari padlók	12
2.2.2. Nagyterhelésű ipari padlók	12
2.2.3. Magasraktári ipari padlók.....	13
2.2.4. Teremgarázsok ipari padlói.....	13
2.2.5. Padlófűtéses ipari padlók.....	14
2.2.6. Hűtőházi ipari padlók	14
3. Az ipari padlókat érő hatások, igénybevételek	15
3.1. Az ipari padló tervezésének a lépései	15
3.2. Az ipari padló tervezésének alapadatai.....	15
3.3. Az ipari padlók igénybevételei.....	16
3.3.1. Statikus és dinamikus terhek.....	17
3.3.2. Zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból származó igénybevételek....	29
3.3.3. Felületre ható mechanikai igénybevételek.....	30
3.3.4. Felületre ható vegyi igénybevételek	31
3.4. Süllyedési, alakváltozási kritériumok	31
3.5. Síkpontossági fogalmak	33
4. Az ipari padlók alatti anyagok bemutatása	41
4.1. Az ágyazatok anyaga	41
4.1.1. Homokos kavics	41
4.1.2. Zúzottkő	42
4.1.3. Ipari hulladékok, másodlagos nyersanyagok	44
4.1.4. Talajstabilizációból készülő anyagok	45
4.2. Hőszigetelő anyagok	47
4.2.1. Polisztirol hőszigetelő anyagok	47
4.2.2. Üveghab granulátum	48
4.3. Az általaj tulajdonságai	49
4.4. Geoműanyagok.....	55

5. Padlószervezetek geotechnikai méretezése	58
5.1. Az ágyazási tényező meghatározása	58
5.1.1. Analitikus módszerek	59
5.2. Végeselemes módszerekkel való tervezés és mintaszámítások eredményeinek bemutatása	63
5.2.1. A Végeselemes szoftver	64
5.2.2. Talajmodellek	65
5.2.3. A mintaszámítások során alkalmazott talajtípusok.....	68
5.2.4. Alkalmazott teheresetek.....	70
5.2.5. Süllyedések értékelése	71
5.2.6. Magasraktárak számítása végeselemes módszerrel	77
6. Ipari padlók statikai méretezési kérdései	80
6.1. A rugalmasan ágyazott lemezek tervezésének elméleti háttere	80
6.2. Terhek osztályozása és bemutatása a méretezés szempontjából.....	81
6.2.1. Járműteher	82
6.2.2. Koncentrált terhek.....	83
6.2.3. Megoszló terhelés.....	84
6.2.4. Vonalmenti terhek	84
6.2.5. Nem szokványos terhek.....	85
6.2.6. Építési terhek.....	85
6.2.7. Környezeti tényezők	85
6.3. Biztonsági tényezők.....	86
6.4. A padló zsugorodásának és felhajlásának hatása a padló méretezésére	88
6.5. Padlók típusai a méretezés szempontjából.....	89
6.5.1. Vasalatlan betonpadló	90
6.5.2. A repedéstágasság szabályozására alkalmazott vasalással készülő padló	92
6.5.3. Zsugorodás-kompenzált beton ipari padlók.....	93
6.5.4. Utófeszített vasbeton padlók.....	94
6.5.5. Tartószerkezeti szerepű beton és vasbeton padlók	94
6.5.6. Szálerősítésű beton padlólemezek	94
6.6. A padlólemezek hézagainak teherbírása	97
6.7. Talajon fekvő padlólemezek méretezésének alapelve és lépései	98
6.7.1. Peremfeltételek definiálása.....	98

6.7.2.	Terhek felvétele.....	98
6.7.3.	Az altalaj figyelembevétele és esetleges feljavítása	99
6.7.4.	Ágyazati rétegek figyelembevétele és esetleges feljavítása	99
6.7.5.	Hőszigetelő réteg figyelembevétele.....	99
6.7.6.	Elválasztó réteg helyének meghatározása.....	99
6.7.7.	Csúsztató réteg tervezése.....	100
6.7.8.	Ágyazási tényező meghatározása.....	100
6.8.	Az igénybevételek meghatározása	100
6.8.1.	A hajlítóigénybevételek meghatározása	100
6.8.2.	Az átszűrődési nyíróigénybevételek meghatározása	101
6.8.3.	A gátolt alakváltozásból származó igénybevételek számítása.....	101
6.9.	A padlólemez teherbírásának meghatározása.....	102
6.9.1.	A padlólemez nyomatéki teherbírásának meghatározása	102
6.9.2.	A padlólemez átszűrődési nyírási teherbírásának meghatározása	103
6.9.3.	A padlólemez ellenőrzése.....	103
6.9.4.	Betonösszetétel tervezése.....	103
6.9.5.	Felületképzés tervezése	103
6.9.6.	Beton- és építéstechnológiai utasítás és Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv készítése.....	103
7.	Kivitelezéshez kapcsolódó kérdések.....	104
7.1.	Altalaj	104
7.2.	Ágyazatok.....	104
7.3.	Elválasztó és csúsztató rétegek.....	106
7.4.	Beton (padló) lemezek.....	106
7.5.	Minőségbiztosítás.....	114
8.	Hivatkozások.....	117

1. Ipari padlók, a Segédlet célja

Az ipari padlók tervezésével és kivitelezésével kapcsolatban 2020-ban készült egy Építésügyi Műszaki Irányelv [1], melynek címe: „Ipari padlók tervezési és kivitelezési szabályai”. Ezen Irányelv elsősorban a padló típusokat, rendszereket és irányelveket tárja fel és nem a geotechnikai és statikai méretezési, tervezési kérdésekre fókuszál. Ezen segédlet nem ezt az Irányelvet hivatott „leváltatni”, hanem kiegészíti azt.

Segédletünk célja az ipari padlók általános áttekintésén túl elsősorban a geotechnikai - statikai feladatok ismertetése, a méretezés feladatainak számbavétele. A tervezési részt követően a kivitelezéssel kapcsolatos kérdések számbavétele szintén fontos része a dokumentumnak. Az általános bemutatást vállaló 2. fejezet részben az Irányelvet alapul véve került összeállításra.

Az ipari padlók kialakítása gyakran méltatlanul kevés figyelmet kap, miközben napjainkban egyre nagyobb elvárások fogalmazódnak meg azok használata kapcsán. Csarnoképületek tartószerkezetének méretezése nyilvánvaló feladat, azonban az ipari padlók készítésekor az általánosan alkalmazott ágyazat beépítése és a lemez szokványos kialakítása nem oldja meg minden esetben a használat által elvárt viselkedést. A padlószerkezet utólagos javítása pedig költséges, gyakran műszakilag nehezen megoldható és jelentősen gátolja a használatot.

A padlószerkezetek kialakításának alapvető problémája, hogy az altalaj állapota, a terhelés nagyságrendje és tartóssága, valamint a terhelt felület mérete együtt befolyásolja a hatás mértékét és egyúttal a méretezés folyamatát. Fontos megjegyezni, hogy nem lehet előre pontosan definiálni, hogy mikor van szükség részletesebb geotechnikai és tartószerkezeti vizsgálatra a kisebb terhelésű rendszerekhez képest, mert az összetetten függ az altalaj-és talajvíz viszonyoktól, a terhelések eloszlásától és nagyságától. Ezért az általánosan szokásos, kis terhelésű rendszerekhez képest a nagyobb terhelésű, és/vagy kedvezőtlenebb altalajú esetekben a résztvevők szoros együttműködése elengedhetetlen.

2. Az ipari padlók bemutatása

A csarnokok betonpadlóit gyakran ipari padlónak nevezik. Betonpadlókat azonban nem csak ipari csarnokokban alkalmaznak, hanem más gyártó- és raktárterületeken is. A szabadban lévő betonpadlók közlekedési területek, amelyek a betonutakhoz hasonlítanak.

Az ipari padló olyan épületszerkezet, melynek alapvetően üzemi célja van. Leginkább használati terhelésnek van kitéve, és a megfelelő színvonalú működése, tartóssága alapvetően határozza meg az üzemeltetés hatékonyságát.

Az ipari padló egy csarnok építési költségei között jellemzően tekintélyes összeget képvisel, elérheti akár a teljes beruházási költség 20-25%-át is. Emellett az is nagy jelentőséggel bír, hogy rövid idő alatt nagy értéket lehet teremteni, hiszen pl. egy 10-15 fős szakképzett brigáddal napi akár 1000 m² ipari padlót is el lehet készíteni, míg nagy teljesítményű gépekkel (pl. laser screed) akár ennek 2-2,5-szerese is kivitelezhető.

Mindezekből adódik az, hogy az ipari padló kiemelt jelentőséggel bír az építőiparban, magában hordva azt a szintén lényeges szempontot, hogy a nagy termelékenység mellett a kivitelezés-technológiai fegyelemnek is óriási jelentősége van. Az ipari padlók utólagos javítása általában komoly költségvonzatú és a javítás szinte minden esetben jelentősen csökkenti az esztétikai hatást is.

Alapvető elvárás, hogy olyan ipari padlók készüljenek, amelyek a használati és környezeti igénybevételeknek hosszú távon ellenállnak, megbízhatóan működnek és alacsony fenntartási költségűek. Ez a cél a fokozódó piaci verseny miatt mindmáig és a jövőben is folyamatosan előtérbe helyezi az ipari padlók technológiájának fejlesztését, módot adva az építőipari szereplőknek arra, hogy innovatív megoldásokat találjanak. Az ipari padló technológiai fejlődésének üteme is ennek megfelelő és még további új megoldások kidolgozását, ipari szinten való megvalósítását teszi lehetővé.

A jó minőségű ipari padló alacsony fenntartási költségű, tartós, hosszú távon költséghatékony, az üzemeltető megbízhatóan használhatja, és a karbantartási költsége is pontosan tervezhető. Az ipari padló tervezése, azon belül a statikai méretezése a fenti célnak az eléréséhez járul hozzá. Az a jó ipari padló terv, mely figyelembe veszi mind a funkciót, mind a hasznos terheket (pl. statikus és dinamikus terhek), felületi és egyéb igénybevételeket (pl. kopásállóság, vegyszerállóság), a hasznos igénybevételek járulékos mellékhatását (pl. nagytáblás fugamentes igény esetén nagyobb zsugorodással kell számolni, vagy hűtőház esetén nagyobb hőmozgással kell számolni), valamint a technológiai (pl. plasztikus és száradási zsugorodás) és környezeti hatásokból származó igénybevételeket (pl. kültéren fagyhatás). Ezek alapján adja meg a műszaki és gazdaságossági optimumot, a padlószervezetre és az alatta épülő rétegre vonatkozóan.

Egy jól megtervezett és kivitelezett ipari padlóval szemben egy rossz minőségű ipari padló nemcsak a karbantartási, üzemeltetési költségeket növeli meg a felületi hibák, fugák, fugaél-letöredezések javítása, repedések kezelése stb. miatt, hanem közvetlenül is kihathat az üzem teljesítményére (nem tervezett üzemszünetek, leállások a javítási időre, lassúbb anyagmozgatás stb.). Lényeges problémákat okozhatnak mindemellett az anyagmozgató gépek, targoncák forgóalkatrészeinek, csapágyainak, lengéscsillapítóinak, egyéb alkatrészeinek a padlóhibákból származó rövidebb élettartam miatti megemelkedett javítási, karbantartási költségei is. A hibák okozta többletköltségek és a kisebb kapacitás miatt komoly versenyhátrányba hozhatja az üzemeltetőt.

2.1. Az ipari padlók szerkezeti részei és sajátosságai

Az ipari padlók általában három fő szerkezeti részre tagolhatóak:

- jól tömörített, tartós teherbírású altalajra (szükség esetén talajstabilizációval),
- kellő vastagságú tömörített, durvaszemcsés anyagból készített ágyazatra,
- valamint a megmunkált felületű betonlemezre.

A betonpadlók használatához és tartós működéséhez a fenti három egymás fölötti réteg együttműködése, illetve szükség szerint további rétegek, talajerősítések (pl. rigid inclusion, mélykeverés stb.) beépítése szükséges.

Az ipari padló olyan speciális épületszerkezeti elem, mely jól meghatározható szerkezeti- és igénybevételi tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek közül az alábbiakat fontos mindenképpen figyelembe venni:

- folytonos, rugalmas alátámasztás,
- épülettől, más szerkezettől statikailag független (attól dilatációval elválasztott),
- beltéri betonlemez,
- ipari mechanikai terheléseknek kitett,
- az igényekhez igazodó felületi kialakítások lehetségesek,
- nem tartószerkezet, a tervezése nem csak statikai, hanem komplex beton-technológiai, geotechnikai és szervezési feladat.

A betonpadlók az ipari építésben – a közutakkal és autópályákkal ellentétben – kevésbé vannak kitéve gyakori teherismétlődésnek; ehelyett inkább nagyobb koncentrált és felületi, valamint hosszan tartó terhelések lépnek fel.

Az ipari létesítmények útfelületén és az **ipari padlók közlekedő** területein tehergépkocsik, személygépkocsik, villás targoncák, elektromos targoncák vagy különleges járművek járnak különböző gyakorisággal és igen változó kerékterhelésekkel.

A **raktári felületeknek** és tárolóhelyeknek viselniük kell a raktározott és tárolt árukat. Ezek a rakodógépek gyakran erős súrlódó hatásnak teszik ki, főleg akkor, ha ömlesztett árurol van szó, amit baggerék, kerek rakodók vagy egyéb emelő- és szállítóberendezések rakodnak át. A konténerek és magas polcok nagy pontszerű terheléseket adnak át a betonpadlóra.

A **termelőfelületek** az üzemcsarnokokban nemcsak a gépek és készülékek terhét kapják, amelyek gyakran járulékos rezgéseket is okoznak, hanem a felületükön is mechanikus igénybevételnek (pl.: ütő, súroló, lökő) vagy savak, lúgok, olajok vegyi hatásának vannak kitéve.

2.2. Az ipari padlók általános típusai

Az ipari padlókat funkciójuk és ehhez kapcsolódó kialakításbeli különbségük szerint az alábbi módon lehet típusokba sorolni:

- 1.) Kisterhelésű ipari padlók (normál, standard, vágott fugás),
- 2.) Nagyterhelésű ipari padlók (pl. logisztikai csarnokok, vágottfuga-mentes, nagytáblás, jointless),
- 3.) Magasraktári ipari padlók (nagy síkpontosságú, superflat),
- 4.) Teremgarázs padlók,
- 5.) Padlófűtéses ipari padlók (fűtőcsövekkel),
- 6.) Hűtőházi ipari padlók (mélyhűtött környezet)

2.2.1. Kisterhelésű ipari padlók

A kisterhelésű, vágott fugás ipari padlók (1. fénykép) általában 15-20 cm vastagok, terhelhetőségük 10-20 kN/m² általános, egyenletesen megoszló teher. Leginkább műhelyek, gyártócsarnokok készülnek ilyen típusú padlószerkezettel, jellemzően 600 – 800 m² alatti alapterülettel, 6-9 m-es belmagassággal. Raktár funkcióval nem rendelkeznek, de kisebb polcrendszerek telepíthetők a padlóra és csak kisebb terhelésű, FL1-FL2 terhelési kategóriájú targoncák közlekedhetnek rajtuk.



1. fénykép: Vágott fugás, normál (standard) ipari padló - Ipari csarnok, Tököl (forrás: Betonmix)

2.2.2. Nagyterhelésű ipari padlók

A nagyterhelésű ipari padlók (2. fénykép) jellemzően min. 20 cm-es vastagságúak, gyakoriak a 25 cm, egyes esetekben 28-30 cm vastagok is lehetnek. A jellemző átlagos padlóterhelések 80-100 kN/m² is elérik, FL3-FL6 kategóriájú targoncák közlekedhetnek rajta, a raktározási magasság min. 10-11 m. Sok esetben az iker polclábaknál 200 kN körüli koncentrált terhek is ébredhetnek. Ezen ipari padlókat, leginkább ún. nagytáblás geometriával építik, ahol a munkahézagok távolsága elérheti a 30 m-t úgy, hogy vágott fugát nem kell kialakítani.



2. fénykép: Vágottfuga-mentes (jointless), ipari padló - Raktár csarnok, Gyál (forrás: Betonmix)

2.2.3. Magasraktári ipari padlók

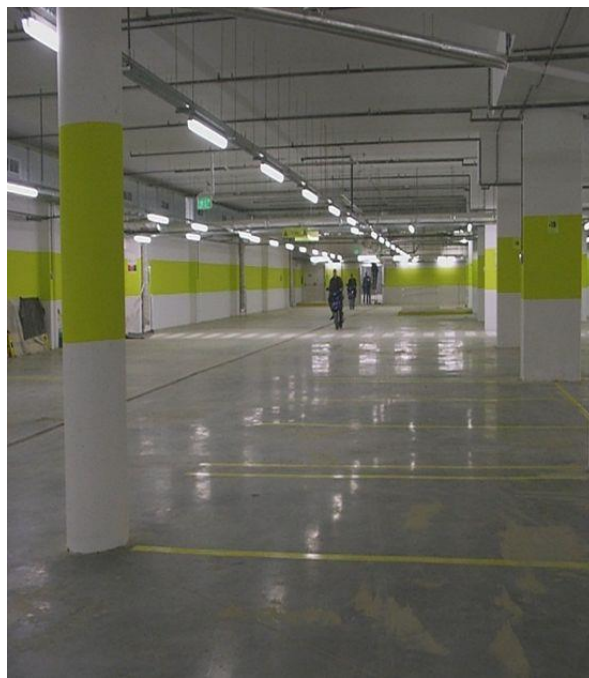
Szintén nagy terhelésűek általában a nagy síkpontosságú felületet igénylő magasraktári ipari padlók (3. fénykép), ahol a polcterhelések szintén nagyok, elérhetik a 200-250 kN koncentrált lábterhelést is. Figyelembe kell venni külön a targoncaterhek dinamikus hatását is a nagy sebesség- és forgalomintenzitás miatt. Ezen csarnokok belmagassága meghaladja általában a 10-11 m-t (elérheti a 30-40 métert is), a táblaméretek 900 m² körüliek, a polcrendszerek közötti folyosók általában 1,4-1,8 m szélesek.



3.fénykép: Nagy síkpontosságú (superflat), szűkfolyosós ipari padló - Raktár csarnok, Szigethalom (forrás: Betonmix)

2.2.4. Teremgarázsok ipari padlói

Teremgarázsok ipari padlói (4. fénykép) épülhetnek az alaplemezre, vagy a közbenső födémekre, akár mélygarázs, akár felszín feletti kialakítás esetén. Mindkét esetben ún. felbetonoknak tekinthetőek, melyek a tartószerkezetre fekszenek fel, általában fóliaréteggel elválasztva tőle, ún. úszólemezként működnek. Vastagságuk min. 10-12 cm, vágott fugás kialakításukat, személygépkocsik, kisteherautók terhelésére kell tervezni. A fugatávolságokat úgy kell kialakítani, hogy illeszkedjen a pillér- és gerendakiosztáshoz, födémek esetén különösen.



4. fénykép: Teremgarázs ipari padló - Asia Center, Budapest (forrás: Durostone Kft. 2002)

2.2.5. Padlófűtési ipari padlók

Egyre gyakrabban épülnek padlófűtési ipari padlók (5. fénykép) az áruházakban és a gyártócsarnokokban. Vastagságuk jellemzően 23-28 cm a padlófűtés csövezés miatt, tekintettel arra, hogy a 25-35 mm átmérőjű fűtőcsövek nem számíthatók be a lemezvastagságba a méretezéskor. Lehetnek ezen ipari padlók nagyterhelésűek, akár fugamentes kialakításban, 900 m²-es mezőnagyságokkal, de sok esetben készül vágott fugás kialakítással is.



5. fénykép: Padlófűtési ipari padló, ablakgyár – Budapest (forrás: Betonmix)

2.2.6. Hűtőházi ipari padlók

A hűtőházi ipari padlók (6. fénykép) méretezett vastagságú és teherbírású hőszigetelő rétegre épülnek 20-30 cm-es vastagságban, akár vágottfugás, akár nagytáblás kialakításúak is lehetnek az alapterületől és a funkciótól, valamint a belmagasságtól függően. Vannak kisebb 300-500 m²-es kisterhelésű hűtőházi ipari padlók, de előfordulnak akár 10.000 m²-es nagyságúak is.



6. fénykép: Hűtőházi ipari padló - Bátortereny (forrás: Betonmix)

3. Az ipari padlókat érő hatások, igénybevételek

3.1. Az ipari padló tervezésének a lépései

Az ipari padlók tervezése során általában az alábbi feladatokat kell sorrendben elvégezni:

- funkció meghatározása, pontosítása (figyelembe véve az esetleges későbbi funkcióváltást),
- igénybevételek meghatározása (nem csak statikai, hanem környezeti, felületi használati),
- méretezés,
- szerkezeti kialakítás.

A funkció kiválasztása után első lényeges kérdés a padlóra ható igénybevételek meghatározása, figyelembe véve minden lehetséges hatást. A padló méretezése csak ezek pontos ismeretében végezhető el.

A lehetséges igénybevételek ismertetése előtt a következő pontban néhány, a méretezést alapvetően befolyásoló szempontot ismertetünk.

3.2. Az ipari padló tervezésének alapadatai

A csarnok funkciójának a meghatározása a legtöbbször már eldönti, hogy a padlólemez alatt milyen rétegrendre van szükség.

Az utóbbi 15-20 évben a gyártóüzemek, kereskedelmi létesítmények körében egyre jobban előtérbe kerültek a padlófűtéses ipari padlók. Ezek kb. 95%-ban hőszigetelésre vannak fektetve, 5%-ban azonban ágyazatra.

Lényeges különbséget jelent egy ipari padló tartósságára, élettartamára, használhatóságára nézve a targoncaforgalom intenzitása. Hazánkban az 1990-es évek eleje óta építenek korszerű ipari padlókat. A tapasztalat egyértelműen azt mutatja, hogy döntő jelentőségű ebből a szempontból a targoncaforgalom, ugyanis a fugaszélek, munkahézag-szélek tönkremenetele, a felület kopása ettől a tényezőtől függ a leginkább. Ahol a targoncák a csarnokban nagy sebességgel (pl. 10-15 km/h) közlekednek, ott nagyon komoly ütőterhelést adnak át a fugaszéleknek. A nagy forgalomintenzitás (pl. percenként akár 5-10 targonca-áthaladás) pedig gyors elhasználódást okoz. Ezen elhasználódási igénybevételt tovább befolyásolja az, hogy a targoncák kereke milyen anyagból készül.

Logisztikai központok, nagyraktárak csarnokaiban szinte alig használnak fűvott gumikerekes targoncákat, leggyakrabban tömörgumi vagy kemény műanyag (poliuretán, vulkolán) kerekű, ritkán acél kerekű targoncák közlekednek. A koptató- és

ütőhatás nem csak a padló felületét és a fugaszéleket teszi tönkre, hanem a nem optimális padló kialakítás, illetve az igények nem megfelelő felmérése, értékelése magában a targoncákban (kerekek kopása, kerékcsapágyak tönkremenetele) is idő előtti károkat okoz, és ezzel növeli az üzemeltetési költségeket.

A használathoz illeszkedő padlótípus és a felületi kialakítás megválasztása a statikai méretezés mellett legalább ilyen fontos kérdés. A padló tönkremenetelek általában nem statikai, teherbírási okok miatt, hanem a leggyakrabban targoncaterhelés hatására következnek be. A legtöbb esetben alábecsülik a beruházók, üzemeltetők a targoncaterhelés nagyságának vagy intenzitásának jelentőségét és a közlekedési sebességet. Olyan tönkremeneteli okok is előfordulnak, amikor a kerék típusához, anyagához nem illeszkedik a felületképzés és a fugakialakítás módja.

Vágott mentes ipari padlót leginkább a nagy polcterhelésű és nagy targoncaforgalmú csarnokoknál gazdaságos alkalmazni mind targoncahasználati, mind pedig statikai okokból. Ezen statikai okok a vágott fugáknál meggyengített ipari padló teherbírás-csökkenésével függenek össze, mert a betonlemezeknél a fugáknál a teherátadás csak csekély mértékben valósul meg és nagyobb lehajlások keletkeznek. A dilatációs- és munkahézagokat viszont a vízszintes csúszókapcsolatot használó, csak nyírást átadó kapcsolattal alkalmassá lehet tenni a teherátadásra.

A nagy síkpontosságú (superflat) ipari padlók jelentik ennek a speciális szakterületnek a csúcsát mind tervezési, mind betontechnológiai, mind pedig kivitelezési szempontból. Nagy síkpontosságú ipari padlókra a szűkfolyosós magas polcrendszerű raktár csarnokokban van szükség, ahol a targoncák nagy sebességgel az árut akár 15-17 m-es magasságig emelve közlekednek. A kb. 1,8-2 m széles folyosókban a padló felületi egyenletessége oly mértékű kell legyen, hogy a targonca haladása és áruemelése során ne billenjen ki oly mértékben az áru, hogy a polcsornak ütközzön. Erre vonatkozó, hazánkban a leggyakrabban alkalmazott szabvány a DIN 15185. [2] 3. rész, illetve a Technical Report No.34. (TR34) irányelv [3] 4. fejezet és a VDMA irányelv [4].

3.3. Az ipari padlók igénybevételei

Az igénybevételek egy része azok a terhelések, melyek hordására készül a szerkezet, ezek a hasznos és használatból adódó igénybevételek (mechanikai és vegyi). Emellett meghatározandóak azok a technológiai (pl. zsugorodás) és környezeti (pl. hőtágulás) terhelések is, melyek szintén lényegesek a szerkezet kialakítására nézve.

Az ipari padlók tervezése során figyelembe kell venni (a funkció kiválasztása után):

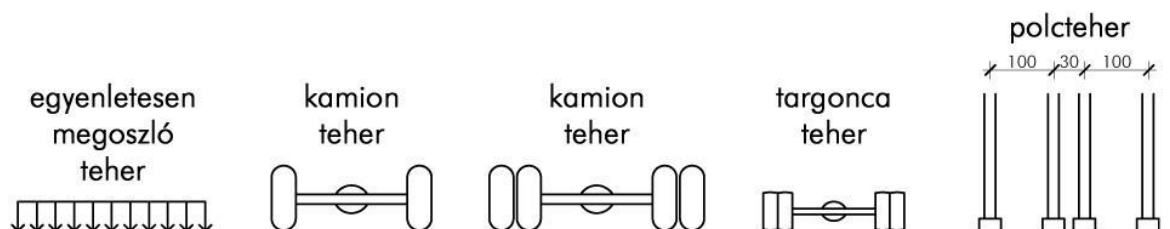
- a hasznos terheket, mechanika igénybevételeket (pl. statikus és dinamikus terhek stb.),
- a felületi igénybevételeket (pl. kopásállóság, ütésállóság, vegyszerállóság),

- a hasznos igénybevételek járulékos mellékhatásait (pl. nagytáblás fugamentes igény esetén nagyobb zsugorodással kell számolni, vagy hűtőház esetén nagyobb hőmozgással kell számolni),
- a technológiai hatásokból származó igénybevételeket (pl. plasztikus és száradási zsugorodás),
- a környezeti hatásokból származó igénybevételeket (pl. kültéren fagyhatás), és a fenti hatások alapján kell meghatározni azt a padlószerkezetet, amely az alépítményi, ágyazati rétegrenddel együtt a műszaki és gazdaságossági optimumot biztosítja

3.3.1. Statikus és dinamikus terhek

Az ipari padlóra, mint betonlemezre ható hasznos statikus és dinamikus terhek általában az alábbiak lehetnek:

- egyenletesen megoszló terhek (tömbös áruk, raklapok),
- járműterhek (targonca, kamion, mozgó gépek),
- koncentrált terhek (állványok, polcok, géplábak),
- vonalmenti terhek (falazat, görgős állványrendszer).



1. ábra: Ipari padló mechanikai terheléseinek típusai [5]

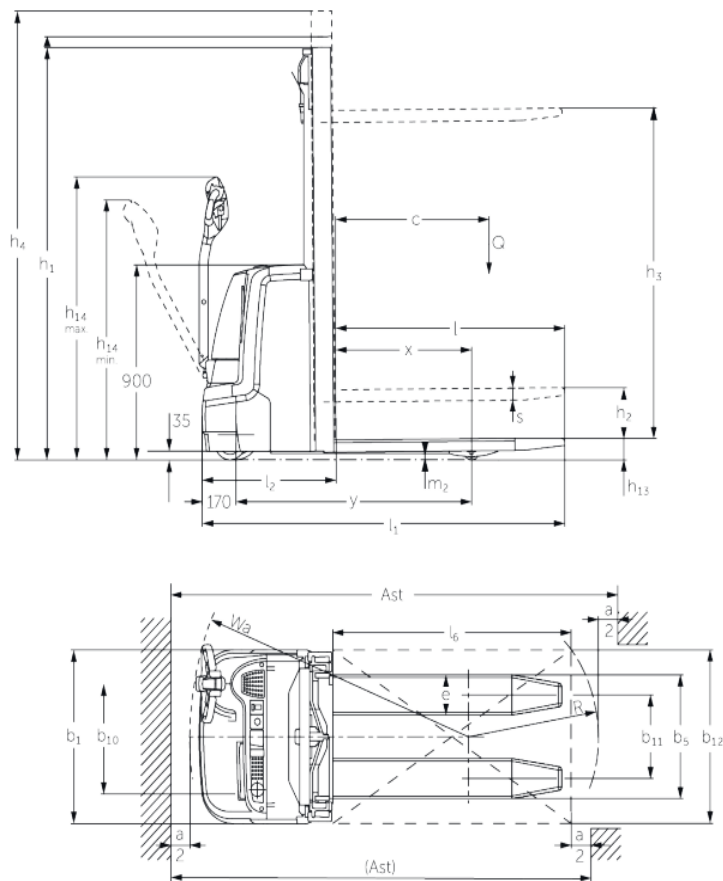
3.3.1.1. Egyenletesen megoszló terhek

A raktározások során előfordulnak nagy tömegű acél-és papírtekercsek, acéllemezek- és gerendák, vagy egyéb bálák, egymásra helyezett raklapok, melyek vagy közvetlenül, vagy kalodákon-elosztó gerendákon keresztül terhelnek a padlólemezre. Ezeket - mint ahogyan a gabona, vagy más szemes anyag tárolók ömlesztett termékeinek terhelését is - a legtöbb esetben egyenletesen megoszló terhelésként lehet figyelembe venni, sávós, vagy ún. sakktáblás eloszlással.

3.3.1.2. Járműterhek

Az anyagmozgatásra az alábbi fő járműtípusokat különböztethetjük meg:

a.) Gyalogkíséretű targoncák



2. ábra: Gyalogkíséretű targonca

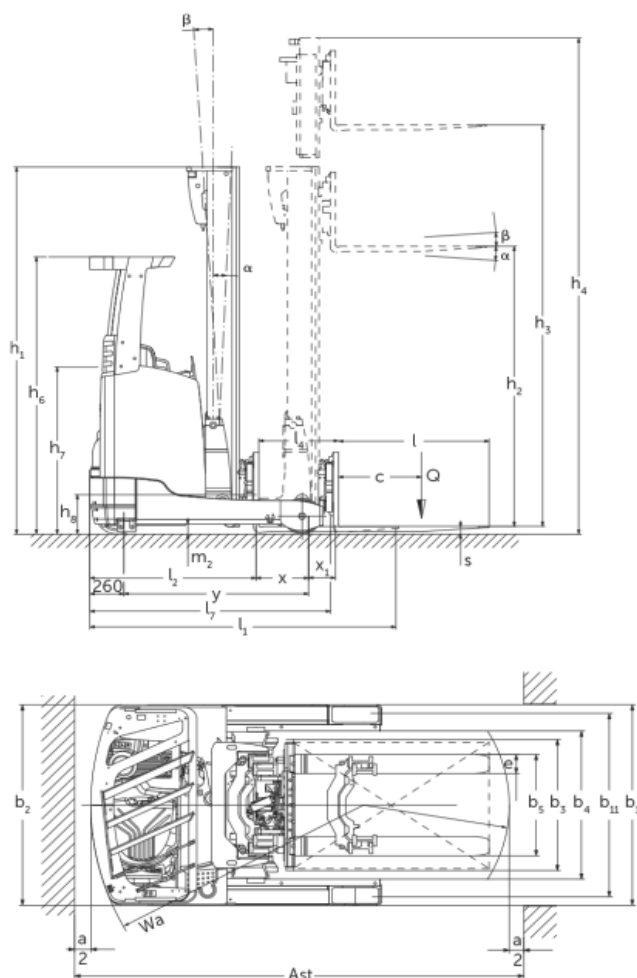
Főbb jellemzői:

- Kerék típusa: Polyurethan
- Alátámasztások száma: 3 db
- Talajnyomás értéke (pl.: Jungheinrich termékpalettájában található gépek min/max értékei):
 - Tengelyterhelés teherrel elől/hátul: 650 / 1380 kg
1291 / 3550 kg
 - Tengelyterhelés teher nélkül elől/hátul: 580 / 250 kg
1150 / 660 kg

[6], [7]

b.) Tolóoszlopos targoncák

ETV/ETM 210 - 216

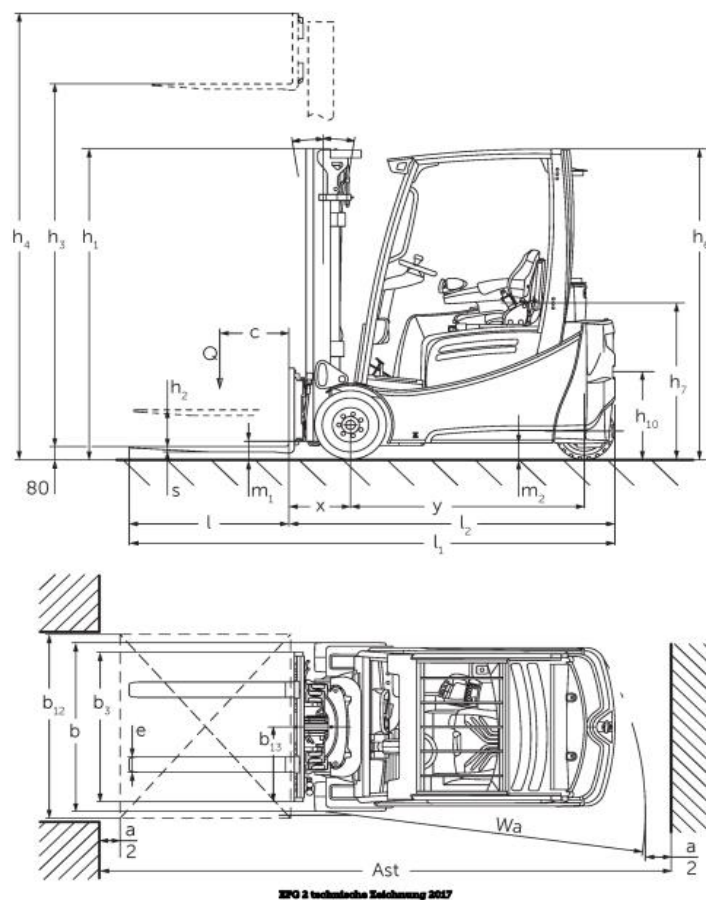


3. ábra: Tolóoszlopos targoncák

Főbb jellemzői:

- Kerék típusa: Polyurethan
- Alátámasztások száma: 3 db
- Kerék mérete típustól függően változik
- Talajnyomás értéke:
 - Statikus: 51,2 kg/cm² - 61,1 kg/cm²
 - dinamikus: 92,2 kg/cm² - 110,1 kg/cm² [8], [9]

c.) Homlokvillás targoncák



4. ábra: Homlokvillás targoncák

Főbb jellemzői:

- Kerék típusa: szuperelasztikus kerekek
- Alátámasztások száma: 3/4
- Kerék mérete: típustól függően változik
- Talajnyomás értéke (Jungheinrich termékpalettájában található gépek min/max értékei):
 - Tengelyterhelés teherrel elől/hátul: 3534 / 458 kg
4784 / 582 kg
 - Tengelyterhelés teher nélkül elől/hátul: 1307 / 1385 kg
1514 / 1852 kg

[10], [11]

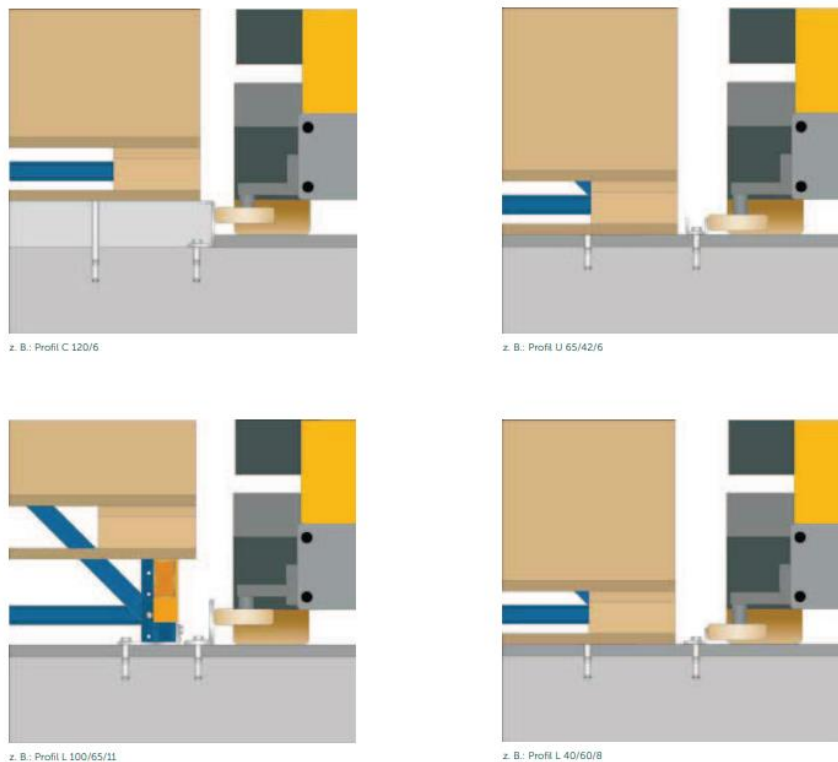
d.) Szűkfolyosós targoncák

Szűkfolyosós targoncák a folyosókban megvezetett módon közlekednek. Ezen megvezetés kétféle módon történhet:

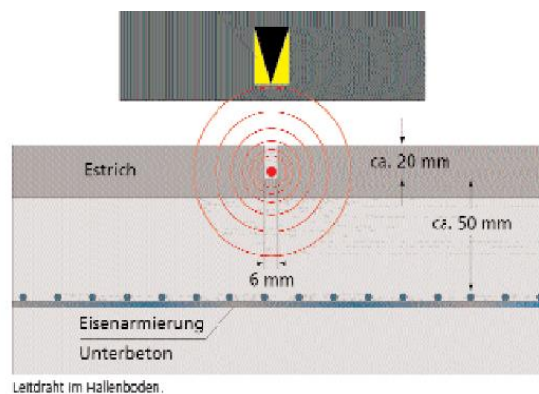
- Mechanikus vagy
- induktív megvezetés kiépítésével.

Mechanikus / sínes megvezetés

A mechanikus kiépítés egy a gép két oldalán a padlóra rögzített acél profilokon keresztül valósul meg. [14] Lehetséges kialakításokat a következő kép mutatja:



5. ábra: Mechanikus / sínes megvezetés [14]

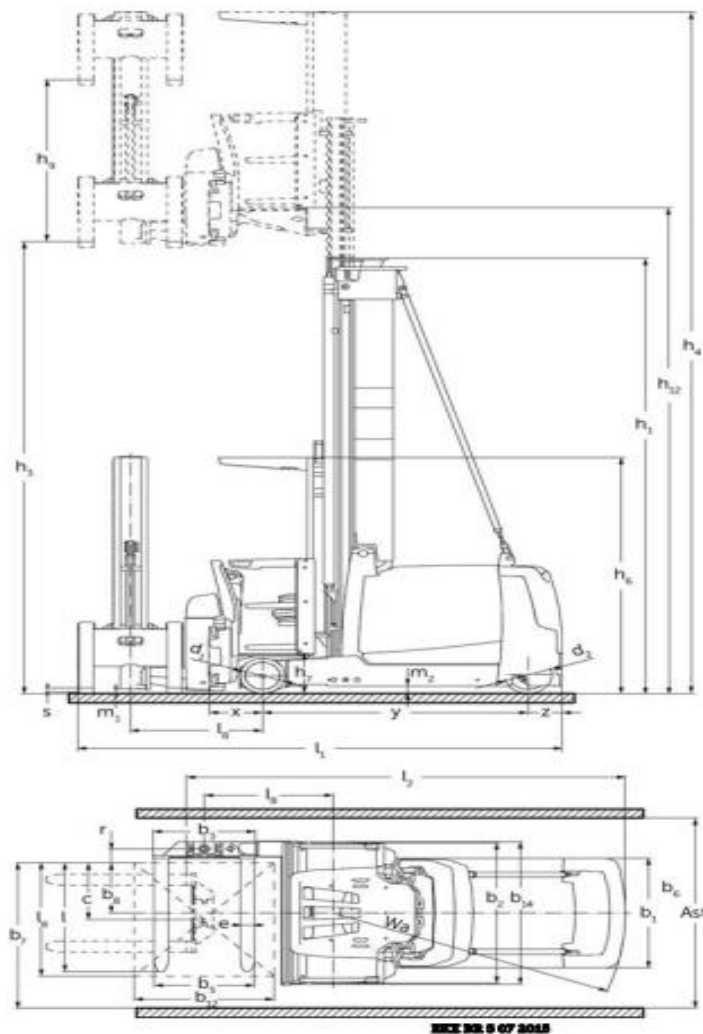


6. ábra: Induktív megvezetés

Induktív megvezetés

Az induktív megvezetés használatakor a padlóba egy vezető kábelt fektetnek, amit a targoncába épített egység érzékel és annak segítségével a gépet a polcok közötti szűk folyosók közepén tartja. Az induktív megvezetés esetén a betonnal szemben a következő követelmények érvényesek:

- Acélhajas beton esetében: a talajban az acélhaj mennyisége ne haladja meg a 30 kg/m^3 -t
- Dilatációs hézagok védelmére behelyezett vasalást az induktív száltól mérve $\pm 250 \text{ mm}$ távolságra meg kell szakítani
- Vasalt beton esetében: a vasalás és az induktív vezeték közti minimális távolság 50 mm (Az induktív szál a talaj felszínétől 15 mm mélyen kerül behelyezésre)
- Induktív szállal párhuzamos dilatációs hézagok a munkafolyosóba nem kerülhetnek



7. ábra: Szűkfolyosós targoncák

A targoncák főbb jellemzői:

- Kerék típusa: Polyurethan
- Alátámasztások száma: 3
- Kerék mérete: típustól függően változik
- Talajnyomás értéke (minden egyes oszloptípushoz külön-külön talajnyomás érték kerül meghatározásra). [12] A 1. táblázatban megadja a villák ill. teher különböző helyzeteiben a talajnyomás értékét.

1. táblázat: Talajnyomás értékek: Szűkfolyosós targoncák [13]

Batterie Gewicht: 2230kg	Last (Tragfähigkeit)	Stellung 1			Stellung 2			Stellung 2			Flächenlast (incl. Stoßfaktor 1,4)	spez. Bodendruck Stellung 2 mit Last (*)	Gesamtgewicht	
Kabinenhöhe h ₃ (mm)	(kg)	mit Batterie, ohne Last			mit Batterie, mit Last			mit Batterie, ohne Last			(N/m ²)	(N/cm ²)	mit Batterie mit Last	mit Batterie ohne Last
		A	B	C	A	B	C	A	B	C			(kg)	(kg)
4000	1600													
4500	1600													
5000	1600													
5500	1600													
6000	1600													
6500	1600													
7000	1600	1707	2173	2350	3181	3362	1368	5376	2367		1,91	704	7910	6230
7500	1600													
8000	1600													
8500	1600													
9250	1600													
Rahmenbreite b ₂ 1550 mm		Gangbreite 1750 mm			Palette 1200 mm x 1200 mm			Einstapeltiefe 1200 mm (D=600)			Zusatzhubmast 1780 mm			

3.3.1.3. Koncentrált terhek (polcrendszerek, állványok)

Az ipari padlók leggyakrabban koncentrált terheléseket kapnak polc- és állványrendszereken keresztül.

Az állványokat az MSZ EN 15620 szerint tudjuk osztályba sorolni az alábbiak szerint:

- **100-as és 200-as osztályú felrakógépek**

Nagyon keskeny folyosós állványrendszerként kialakított raklapos állvány, melyet sínen futó raktári állványkiszolgáló felrakógéppel működtetnek, és az állványzat oszlopa felső vezetősinnel fentről támasztja meg.

- **400-as osztályú keskeny folyosós állványzat**

A széles folyosós állványzathoz hasonló módon kialakított rakodólapos állványrendszer, azonban csökkentett szélességű munkafolyosókkal a speciálisabb típusú villástargoncákkal történő használatra.

- **300-as osztályú igen keskeny folyosós állványzat**

Olyan szélességű munkafolyosókkal kialakított állványzat, mely csupán a targonca és az egységalkomány szélességét és egy akkora műveleti távközt biztosít, ahol a targonca nem képes 90°-os fordulattal szembefordulni az állvánnyal a be- és kitároláshoz.

- **400-as osztályú széles folyosós állványzat**

Olyan szélességű munkafolyosókkal kialakított állványzat, mely elegendő szélességet biztosít az emelővillás targonca-berendezés számára, hogy végig

haladjon a munkafolyosón, és képes legyen 90°-os fordulattal szembe fordulni az állvánnyal a be- és kitároláshoz. [14]

A mindennapi gyakorlatban az alábbi állványrendszereket alkalmazzák:

a.) Soros állványrendszer

A soros állványok a leggyakrabban alkalmazott állványrendszerek. Az egypalettás soros állványokkal ellentétben két oszlop között minden szinten több raklapot tartanak. A standard állványkeretek 8–10 méter magasak, melyek magasraktár esetén elérik a 12 méter magasságot, valamint automatikus kiszolgálásnál akár 45 métert is. Az MSZ EN 15620 – FEM10.3.1 szerint a lábtávolság a polc hossz tengelyére merőlegesen 110cm, ami mögött 20 cm-re van az újabb 110 cm lábtávolságú polc.



8. ábra: Soros állványrendszer

A soros állványok leginkább nagy mennyiségű, egyedi, nagyrészt raklapon levő áruk tárolására alkalmasak. A tömbösített tárolással ellentétben a soros állványok előnye, hogy az áruk nem terhelnek egymásra és közvetlenül hozzá lehet férni minden rakodólaphoz. A kereszttartók könnyű állíthatósága biztosítja a raktár optimális kihasználtságát. Dupla mélységű raktározás is megvalósítható. Az állványok feltöltése ugyanúgy történik, mint az egypalettás állványnál; anyagmozgató gépekkel vagy kötőtpályás felrakógépekkel. Szűkfolyosós gépek használatával a be- és kirakodás keresztirányban is lehetséges. A folyosó szélessége ezáltal 1400 mm-re csökkenthető. Egy polcláb jellemzően 105 cm² effektív felületen kb. 50 kg/cm² terhelést ad át a padlóra.

b.) Bejárható állványrendszer

A be- és átjárható állvány esetében több tárolási egységet raknak egymás mögé az állványon két mélységben végighúzódnó támasztékra (úgy nevezett raklapsínekre). A be- és kitárolásnál be kell tartani az állványmezőkre vonatkozó ciklust lentről felfelé (vagy fordítva). A sorrend attól függ, hogy be- vagy átjárható állványt alkalmaznak. Az anyagmozgató gépek be tudnak menni a csatornákba. A bejárható állványnál a kiszolgálás csak egy oldalról lehetséges (LiFo-elv). Az átjárható állvány esetében ezzel szemben egyik oldalon zajlik a betárolás és a másik szemközti oldalon ezzel egy időben a kitárolás (LiFo-elv). Az átjárható állványok forgalmi teljesítménye ezáltal magasabb a bejárható állványokhoz képest.



9. ábra: Bejárható állványrendszer

A be- és átjárható állványok optimálisak kis cikkszámú nagy mennyiségű, nehéz áruk tárolására. Az állványrendszer összeköti a tömbösített tárolás előnyeit az állványos tárolással: kompakt helykihasználás nagy rakodási magasságban az áru megóvása mellett. A folyosóba való bejárás előtt a gép felemeli a raklapot a kívánt polcszint magasságára. Ezután a targonca lassan behajt a folyosóba.

c.) Átfolyó rendszerű görgős állványrendszer

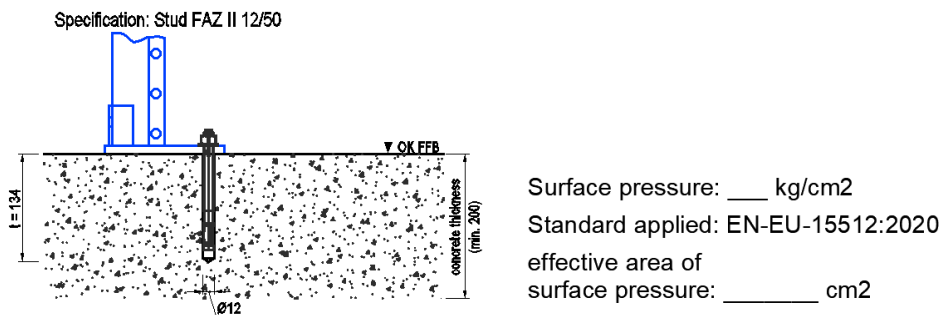
Átfolyó rendszerű görgős állványaink sorba rendezett állványkeretekből állnak, amelyek csatornákat képeznek. A betárolás az átfolyó rendszerű állvány egyik oldalán, a kitárolás a másik oldalán történik. Amint egy rakodólap kivételre kerül, a sorban következő rakodólapok maguktól előre haladnak az enyhén lejtős görgős pályán. Eközben fékező görgők szabályozzák a folyamat sebességét. Egy automatikus elválasztó berendezés gondoskodik arról, hogy az első rakodólapra soha ne nehezedjenek rá az utána következők.

Az átfolyó rendszerű görgős állványok ugyanazon árucikk nagy mennyiségű raktározására alkalmasak. A betárolás kizárólag hosszanti irányban homlokvillás vagy tolóoszlopos targoncával lehetséges. A targoncák kerékterhelésénél a padlólemezekre egy kerék akár 5000 kg terhelést ad át.



10. ábra: Átfolyó rendszerű görgős állványrendszer

Az előzőekben felsorolt állványrendszerek talplemezeken keresztül közvetlenül érintkeznek a padlóval és ezen keresztül kerülnek átadásra a hasznos és az állandó terhek. A talplemezek jellemző kialakítását és méreteit mutatja be a 11. ábra és alatta olvasható felsorolás.



11. ábra: Teherátadás az állványrendszerek talplemezén

Talplemezek lehetséges méretei:

- 135 mm x 120 mm x 6 mm
- 180 mm x 150 mm x 8 mm
- 180 mm x 150 mm x 10 mm
- 220 mm x 160 mm x 12 mm

d.) Gördíthető állványrendszer

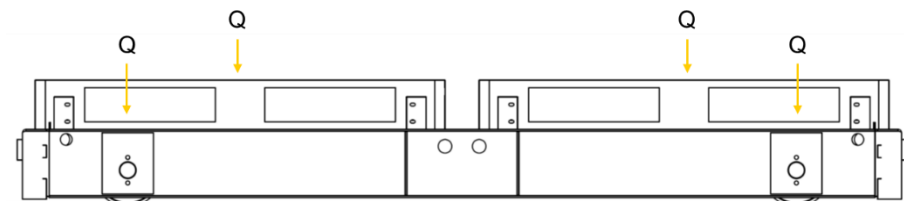
A gördíthető állványokat mozgatható, elektromos meghajtású gépesített alvázakra szerelik. Így az állványfolyosók száma a szükséges minimumra csökkenthető. Ezáltal a rendszer bármely tetszőleges helyén nyitható egy munkafolyosó.

A gördíthető állványok közepes mennyiségű, kis hozzáférési igénnyel bíró áruk különböző cikkeinek tárolására alkalmasak. Gördíthető állványokkal munkafolyosókat takaríthatunk meg és nagyobb raktárteret nyerhetünk (akár 90%-kal nagyobb kihasználás a hagyományos állványokkal szemben), mégis minden tárolási egység bármikor közvetlenül elérhető.



12. ábra: Gördíthető állványrendszer

A terhelést a padlóra síneken keresztül adja át az állványrendszer. A sínterhelés kb. 5000 kg / kerék (9600 kg-os mezőterhelés figyelembevételével), ahol a kerekek EUR raklapos állványok esetében jellemzően 667mm-es távolságra vannak egymástól.



13. ábra: Gördíthető állványrendszer sínterhelései

A bejárható és a gördíthető állványrendszerek a folyosók hiánya miatt inkább nagy felületű egyben lévő terhelésnek tekinthetők, szemben a soros állványrendszerrel. A más típusú tehereloszlás miatt nagyobb lehet a feszültségbehatolási (határ) mélység, így a süllyedések is nagyobbra adódhatnak.

e.) Automata magasraktár

A Silo magasraktárak olyan önhordó állványszerkezetek, melyek egyben az épület tetejét és oldalfalait is tartják. A raktárakat teljesen automatikusan vezérlik és óriási magasság érhető el. Ezen rendszerek másik változata, mikor meglévő épületbe kerül beépítésre a rendszer. A magasraktárakat magas forgalmi teljesítményű árucikkek nagy mennyiségben történő tárolására használják.



14. ábra: Automata magasraktár

Az állványrendszert automatikus felrakógépekkel szolgálják ki. A kötöttpályás felrakógépek akár 40 méter magasságig lehetővé teszik a működést. A folyosóváltás is megvalósítható, amelynek alapja a gépek kanyarodási alkalmassága az Európa-szerte szabadalmaztatott váltórendszerrel.



7. fénykép: Automata magasraktár

Az automata magasrakatárak padlóméretezése során figyelembe veendő terhelések az alábbiak:

- állandó teher a tetőszerkezeten,
- polcrendszer önsúly terhe,
- egységrakomány hasznos terhelése,
- hasznos teher a tetőn (szélteher, hóteher),
- földrengéstehet.

Hasonló a kialakítása, csak falak és tetőszerkezet nélkül számolandó az Inhouse rendszer. Egy ilyen rendszer esetében a következő tájékoztató terhelésekkel számolhatunk az állvány esetében:

- függőleges teher: 210 kN/láb
- függőleges teher gép eredőjéből: -70 kN (húzás)
- vízszintes teher: kb. 10 kN

3.3.2. Zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból származó igénybevételek

Az ipari padlóra, mint betonlemezre, a technológiából és a környezeti hatásokból származó leggyakoribb fizikai igénybevételek az alábbiak:

- zsugorodás,
- és hőmérsékletváltozás.

A **zsugorodási jelenségek** közül az ipari padló esetében a plasztikus és a száradási zsugorodás jelenségével kell feltétlenül számolni. A plasztikus zsugorodás jelensége a beton bedolgozása utáni néhány órában lehet számottevő, a beton kötési ideje alatt, amikor a heterogén keverék a hidratáció során kismértékű térfogatváltozást szenved, de ekkor még a beton sok esetben nem rendelkezik elegendő húzószilárdsággal, így repedésveszély állhat elő. Különösen nagy a kockázat kültéri betonok esetén, ahol ez a jelenség a hőmérsékleti, napsugárzási, légmozgási hatásokkal együtt jelentkezik. Ezen hatás miatti repedések ellen megfelelő betontechnológiával és szükség esetén műanyagszál adagolással lehet tenni. Beltéri ipari padlók esetében a plasztikus zsugorodás jóval kisebb kockázatot jelent (ha az ipari padló készítésének peremfeltételei teljesülnek), de még ha meg is jelennek ezen igénybevételből származó hajszálrepedések, azok a legtöbbször a felületképzés során (pl. porszórásos kopóréteg-felhordás utáni intenzív felületi tömörítés) bezáródnak.

A száradási zsugorodás komolyabb és gyakoribb veszélyt jelent az ipari padlókra nézve. A beton bedolgozása után a mikropórusokon keresztül eltávozó, valamint a hidratációkor a cementkőbe beépülő víz hatására a betonban sajátfeszültségek

keletkeznek, melyet erősít még a hidratációs hőből adódó többletfeszültség. A száradási zsugorodás a beton kötésétől számítva akár hónapokig (fél évig, sőt tovább) is eltarthat. Ezen jelenség repedéseket okozhat. Az ipari padlóknál a megfelelő helyen és időben bevágott fugák meghatározzák azokat a helyeket, ahol a zsugorodásból származó feszültségek levezetése megtörténik. A fugavágási helyek meghatározása szintén tervezési feladat, a fugaterv készítésénél elsősorban a betonlemez vastagságát, erősítésének típusát, mértékét, az alátámasztás és a padló közti súrlódást és a csarnok geometriáját és funkcióját együttesen kell figyelembe venni.

Vágottfuga-mentes padlók esetében olyan vastagságot, betonerősítést, betontechnológiát kell megtervezni, hogy a zsugorodási repedések megjelenésének kockázata a legkisebb legyen, és emellett, ha mégis kialakulnának repedések, azok tágassága szabályozott legyen.

Az ipari padlóké is, de különösen a kültéri térbetonok meghatározó igénybevételei közé tartoznak a **hőmozgással összefüggő feszültségnövekedések**. A beton lineáris hőmozgásával elsősorban a hűtőházi ipari padlóknál és a kültéri betonlemezeknél kell számolni a leginkább. A hűtőházi ipari padlóknál ezért a tervezéskor külön meg kell adni a lehűtési tervet, amelyben meg kell határozni, hogy milyen ütemben, milyen hosszú szünetekkel (pl. a 28 napos kor után napi max. 5 °C hűtés és két nap után egy nap szünet, hogy a beton konszolidálódni tudjon) kell elérni az üzemi hőfokot, amely akár -38 °C is lehet.

Kültéri betonlemezek esetében az időjárás-változásból adódó gyakori és gyors hőmérsékletváltozások nemcsak a lemezek, betontáblák szélénél, hanem a közepénél is okozhatnak igen nagy feszültségeket (vetemedés), amelyekre a lemezt külön méretezni kell.

3.3.3. Felületre ható mechanikai igénybevételek

Az ipari padlók esetében a betonlemezre ható igénybevételek közül külön figyelmet kell fordítani a felületre ható mechanikai terhelésekre. Ezek az igénybevételek az üzemeltetéssel függenek össze. A gyártási folyamatokkal, az anyagmozgatással kapcsolatos súrlódó- (abrazív), gördülő-, kopó- és lökő igénybevételeket jelentik.

Ezen igénybevételeket megfelelő felületképzéssel lehet felvenni. Az ipari padló felületi kezelésének, bevonati rendszereinek szintén széles skálája van, ide tartoznak a cementbázisú porszórt, vagy nedves eljárással felhordott kéregerősítő rétegek, a folyékony kéregerősítők és a műgyanta bevonatok.

Ide sorolhatjuk a dübelezéseket és az indukciós vezetőkábelek telepítését is. A raktárberendezések telepítése során két típusú dübel kerülhet alkalmazásra. Ezek a feszítő és a ragasztópatronos dübelek. Az induktív vezetésű targoncák kábeleihöz pedig bevágásokat kell végezni utólag a padlóba.

3.3.4. Felületre ható vegyi igénybevételek

Az ipari padlók használatával összefüggésben terhelhetik a padlólemezt agresszív vegyi igénybevételek, lúgok, savak, szulfátok, olajok és zsírok, különböző agresszivitási fokban. Az utóbbi években az Európai Unió pályázatokkal kapcsolatos főleg környezetvédelmi, mezőgazdasági és élelmiszeripari beruházások kapcsán ezen problémakör előtérbe került.

Kémiai, vegyi terhelés esetén felületi bevonattal, vagy impregnálással lehet hatékonyan megvédeni a szerkezetet. A cement nem áll ellen a savhatásnak, de a lúgos anyagok is kárt tehetnek, akadályozhatják a rendeltetésszerű használhatóság, csökkenthetik a tartósságot. Az impregnálás nem jelent külön bevonati réteget, de – függően az impregnálószer típusától – részben vagy egészben megakadályozzák a káros vegyületek behatolását az ipari padló szerkezetébe.

Azok a bevonatok, melyek a kémiai hatásoknak ellen tudnak állni, általában műgyanta alapanyagúak. A vegyi és a mechanikai igénybevételtől függően, általában 0,3 – 9,0 mm vastagok. Lényeges az anyag- és a vastagságmegválasztás mellett a megfelelő tapadás is az aljzathoz.

3.4. Süllyedési, alakváltozási kritériumok

Lényeges kérdés annak tisztázása, hogy az ipari padló mekkora és milyen alakváltozásokat, süllyedéseket szenvedhet el maximálisan a különböző igénybevételek hatására. Ennek különösen az állvány-és polcrendszerek esetében van jelentősége.

Meg kell különböztetni a hasznos terhelés okozta ún. konszolidációs süllyedéseket és az egyéb hatásokból (pl. kivitelezési technológia, zsugorodás stb.) származó alakváltozásokat, felületi egyenetlenségeket.

A padló funkciójánál fogva terheléseket hord, ennek hatására pedig a padlóban és ezen keresztül az ágyazati rendszerben, valamint az altalajban feszültségek keletkeznek. A talaj szempontjából fontos meghatározni, hogy rövid, vagy hosszan tartó terhelésekből származnak feszültségeket. A hosszan tartó (tartós) terhelésekből nagyobb ún. konszolidációs süllyedések keletkeznek, míg rövid ideig tartó terhelésekkel szemben a talaj merevebben viselkedik ezért a konszolidációs süllyedéseknél kisebbek alakulnak csak ki.

A hasznos terhelések okozta süllyedéseknek két fő típusa van: az egyenletes, ún. abszolút süllyedések, valamint az egyenlőtlen süllyedések, melyek a padlóban görbületeket okoznak.

Az abszolút (egyenletes) süllyedések szempontjából döntő, hogy mekkora a megengedett süllyedéskülönbség az egyes, különböző mértékben terhelt padlómezők, valamint a (külső) csatlakozó felületek között és azt is figyelembe kell venni, hogy a

padló bizonyos mértékben „felül” a pillérek alaptestjein is, mivel az alaptestek konszolidációs süllyedései jellemzően már lejátszódnak addigra, mire a padló a hasznos terhelésből el kezd süllyedni. Erre vonatkozóan nincsenek egyértelmű kritériumok, de tapasztalati adatok alapján az ilyen értelemben vett abszolút-egyenletes süllyedések maximális értéke általában nem haladhatja meg a 2-3 cm-t.

Állvány-és polcrendszereknél nagyobb szerepe van az egyenlőtlen alakváltozásoknak, süllyedéseknek, mivel a polcrendszerek torzulása egyrészt meg nem engedhető szerkezeti többletfeszültségeket eredményez, másrészt pedig ellehetetlenítheti az anyagmozgatást, tárolást a befeszülések, szorulások miatt. Különösen a köztes szinteken felszerelt állványrendszernél befolyásolhatja jelentősen a padló alakváltozása a funkcionalitást.

Statikus állványrendszernél a maximális egyenlőtlen alakváltozás általában nem lehet nagyobb, mint a fesztávra vonatkoztatva $0,75 \times 1/500$.

Gördíthető állványrendszernél ez az érték $0,75 \times 1/1000$, a maximális tangensdőlés $TGX < 3/1000$.

Az állványrendszerek esetleges dőlését, maximális elmozdulásait éves felülvizsgálatokon szükséges szűrőpróba-szerűen ellenőrizni. Ha túlzott mértékű padlósüllyedések miatt az állvány/polcrendszer funkcióját már nem képes ellátni (zavarja a rendeltetésszerű használatot), akkor természetesen azonnali teljeskörű alakváltozás ellenőrzésre van szükség.

Az 1-2 cm-t meg nem haladó egyenlőtlen süllyedéseket a polcláb talplemez alatt hézagoló lapokkal lehet még kompenzálni. Ha ennél nagyobb (jellemzően lokális) süllyedések alakulnának ki, akkor teljeskörű geotechnikai vizsgálat szükséges az ok megállapítására. Az eredmények függvényében kell meghozni a szükséges intézkedéseket. Gyakori módja a túlzott süllyedések megszüntetésének a talajinjektálás.

A **magasraktárak** esetében sokkal szigorúbbak és jól szabályozottak a kritériumok. Ezen raktárak esetében az automata anyagmozgató berendezések síneken futnak, melyeknek a toleranciája rendkívül alacsony, ezért fontos, hogy a padlólemez mozgásából adódó süllyedéskülönbségeket minimalizáljuk. Ennek megfelelően a süllyedések mellett szigorú síkpontosság követelmények is vannak.

A FEM 9.931 [15] szabvány javaslatokat ad különböző kialakítású magaspolc raktárak számításához, valamint a süllyedéskülönbségből adódó kritériumok meghatározásához. A szabvány meghatároz különböző automata szállítórendszereket, majd ezen rendszerek függvényében osztályokba sorolja a raktárakat, melyek között a fő különbségek a süllyedéskülönbségi kritériumokban vannak.

A szabvány figyelembe veszi, hogy a polcrendszerek tartószerkezeti szerepet is betöltenek, így a magasraktár homlokzatára és tetőszerkezetére jutó szélteherrel és hóteherrel is számol.

A szabvány négy féle irányítási rendszert határoz meg a magas polcraktárak anyagmozgató gépeihez, melyek a következők:

- A rendszer: kézi irányítású anyagmozgató gépek,
- B rendszer: részben vagy teljesen automata anyagmozgató gépek,
- C rendszer: részben vagy teljesen automata anyagmozgató gépek csak és kizárólag Y irányban,
- D rendszer: részben vagy teljesen automata anyagmozgató gépek csak és kizárólag X és Y irányban

A fenti rendszerek alapján a szabvány két osztályt különböztet meg, Class 100 és Class 200. A különbség abban van, hogy a Class 100 kevésbé szigorú követelményeket támaszt a süllyedéskülönbségekkel szemben, elleneben a Class 200-zal.

A szabvány nem tér ki külön a padlószerkezet egyenlőtlen elmozdulásaira, inkább a kiszolgáló rendszerek süllyedéskülönbségeire fókuszál. Abban az esetben, ha teljesen automata anyagmozgatási rendszert alkalmazunk, akkor a gépészeti tervezőnek meg kell határozni azokat a süllyedés kritériumokat, amiket a rendszernek tartania kell.

Elmozdulási kritériumokat ad meg a szabvány minden irányban a polcok függőlegességére, a keret elmozdulására, valamint azokra a sínrendszerekre vonatkozóan, melyeken a fent említett anyagmozgató gépek közlekednek.

Magasraktárak esetén általában már szükség van a padlólemez alátámasztására, gyámolításra, jellemzően cölöpökkel, de esetlegesen szóba kerülhetnek más talajjavítási módszerek is.

3.5. Síkpontossági fogalmak

Az előző fejezetben kitértünk rá, hogy meg kell különböztetni a padlólemez betonozásából származó felületi egyenetlenségeket és a terhelésekből származó süllyedéseket.

A következőkben a betonozás utáni alapvető síkpontossági fogalmakat, előírásokat mutatjuk be.

A síkpontosság terén a kész padlónak a DIN 18202 [16] 3. táblázatának 3. bekezdésében foglaltaknak minimum meg kell felelnie:

2. táblázat: Kész padlók síkpontossági kritériumai [16]

Mérési pontok távolsága (m)	0,1	1,0	4,0	10	15
Síkpontossági tolerancia (mm)	2	4	10	12	15

Nyersbetonból készült, nem felületkész padló esetén a DIN 18202 3. táblázatának 2. bekezdésében foglaltaknak kell megfelelnie:

3. táblázat: Nyersbetonból készült, nem felületkész padlók síkpontossági kritériumai [16]

Mérési pontok távolsága (m)	0,1	1,0	4,0	10	10
Síkpontossági tolerancia (mm)	5	8	12	15	20

Szűkfolyosós magasraktári targonca esetében az állványok közti közlekedőfolyosóban a VDMA irányelvek (www.VDMA.org, [4]) alkalmazása szükséges (hullámosság és síkpontosság vonatkozásában). A VDMA irányelvet a targoncaforgalmazók közösen fogadták el.

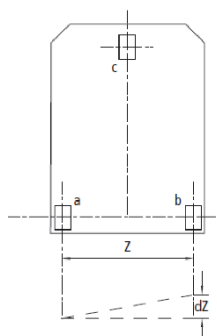
4. táblázat: Közlekedő folyosóra merőleges síkpontossági érték (VDMA irányelve szerint) [4]

Legfelső tárolási szint (m)	Z_{SLOPE} (mm/m)	$dZ = Z \times Z_{SLOPE}$
15	1,0	$Z \times 1,0$ mm/m
10	1,5	$Z \times 1,5$ mm/m
6m-ig	2,0	$Z \times 2,0$ mm/m
6 m feletti állványmagasság esetén interpoláció szükséges.		

Z: a kerekek (a és b) tengelye közötti távolság

Z_{SLOPE} : a kerek folyosóra merőleges szintbeli eltérése

dZ: megengedett maximális szinteltérés a munkafolyosóban



15. ábra: Közlekedő folyosóval párhuzamosan a síkpontossági érték

Közlekedő folyosóval párhuzamosan a síkpontossági értékeket a VDMA irányelve szerint az 5. táblázat és a 15. ábra mutatja.

5. táblázat: Síkpontossági kritériumok közlekedő folyosóval párhuzamosan

Mérési pontok távolsága (m)	1,0	2,0	3,0	4,0
Síkpontossági tolerancia (mm)	2	3	4	5

Az ún. rövidhullámosság értékelése (VDMA irányelve szerint):

Ez a fogalom egy mutatószám (F_x) képzésére utal, mely az egymást követő mérési pontok közti különbséget mutatja. Kisebb F_x mutatószám nagy amplitúdó mellett erősebb rövidtávú hullámosságot jelent, és ezáltal rosszabb síkpontossági értéket (a mérési eljárásra a VDMA irányelv ad javaslatot).

Az ipari padló felületi síkpontosságát többféle szabályozás (szabvány, műszaki irányelv) szerint lehet tervezni és értékelni, ezek közül a leggyakoribbak a DIN 18202 [16], a DIN 15185 [2] és a TR34 [17].

A DIN 18202:2013-04 [16] német szabvány alapvetően a magasépítési szerkezetek mérettoleranciáit szabályozza, ennek egy része a síkpontossági határérték a különböző szerkezetek esetében. A szabvány 3. számú táblázata adja meg az egyenletes felülethez képest a megengedett eltéréseket a különböző mérési hosszokon. Az ipari padlókra ezen táblázat 3. és 4. sora adja meg azokat a legnagyobb eltéréseket, amelyen belül a szerkezet az adott helyen megfelel az előírásnak. A 3. sor ezen adatai szerint egy ipari padló megfelel a szabványban leírtaknak egy adott mérési helyen, ha az eltérés 1 m-es mérési hosszon nem nagyobb, mint 4 mm, 2 m-en 6 mm, 3 m-en 8 mm és 4 m-en 10 mm. Nagyobb mérési hosszok esetében már kisebb mértékben emelkedik a határérték és 15 m-es mérési távolság felett már nem növekszik. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy ipari padló egységen (pl. egy 1000 m²-es csarnokrész) belül a síkpontosságtól való eltérés nem lehet nagyobb 15 mm-nél. A 3. táblázat 4. sora ennél egy kicsit szigorúbb, eszerint 1 m-es mérési hosszon a legnagyobb eltérés nem lehet nagyobb, mint 3 mm és 4 m-en 9 mm (a köztes értékek interpolálандók).

Lényeges, hogy a szabvány nem a vízszintestől való eltérésről, hanem a síkpontosságról ír, ezért nem szabad egyszerűen a szintezési leolvasási értékek különbségéből következtetni a síkpontosságra. Az ipari padló felületi hullámossága mindig két másik ponthoz képest értelmezendő, két lokális magaspont közötti képzeletbeli húrtól való legnagyobb függőleges távolságaként. Ezért lényeges a minősítéshez a szabvány által leírt mérési módszer betartása.

A mérés végrehajtása egy-egy kijelölt helyen úgy történik, hogy a mérőlécet (egyszerű aluléc) a felületre rá kell helyezni, majd a két feltámaszkodási pont közti távolságot le kell mérni. Ezen távolsághoz a szabvány szerinti tolerenciát bemutató táblázatból, vagy grafikonból interpolálással meg kell határozni a megengedett legnagyobb réstávolságot és ezt az értéket kell összehasonlítani a mérőléc és a padló síkja közti, az adott helyzethez tartozó legnagyobb távolsággal.



8. fénykép: Síkpontosság mérése (forrás: Betonmix)

A szabvány nem írja elő, hogy egy adott területen, vagy akár egy fugákkal határolt betontáblán hol, milyen irányban és mennyi mérési pontot kell felvenni, tehát a szükséges helyek kijelölését nem határozza meg, így az az alapelv érvényesül, hogy a mérés céljának megfelelő, a minősítéshez szükséges jellemző helyeken kell mérni. Ez a szubjektívnak tűnő nagyvonalúság viszont a gyakorlatban lehetőséget is kínál arra, hogy a kivitelező és a megrendelő közti vitát a helyes, a használhatóság megítélésének a szempontja felé terelje és azokon a területeken készüljenek mérések, amelyek a használhatóság szempontjából mértékadóak.

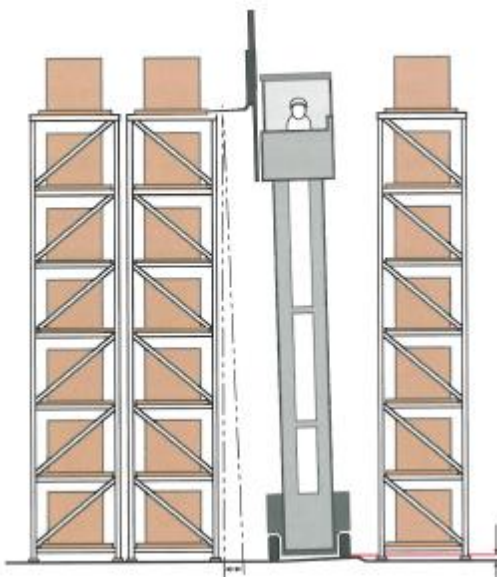
A szabvány nem állapít meg osztályokat, ezért ez a szabvány nem alkalmas arra, hogy az ipari padlót osztályba sorolja, viszont kiválóan alkalmas arra, hogy megállapítsa, hogy az adott ipari padló mely területein vannak síkpontossági hibák. A szabvány szerinti minősítés tehát azt mondja ki, hogy a padló egy vagy több adott helyen nem felel meg a szabvány szerinti síkpontosság mértékének, egyéb helyeken viszont megfelel.

A szabvány szerint lehetőség van arra is, hogy szintezéssel minősítsék az ipari padló felületi síkpontosságát. Ahhoz azonban, hogy a gyakorlat szempontjából használható

eredményeket kapjunk, viszonylag sűrűn, pl. 50, vagy max. 100 cm-es rászterben célszerű felvenni a szinteket, ami hosszú művelet egy több ezer négyzetméteres ipari padló esetén.

A korábbiak során leírtaknak megfelelő a szintezési hullámosság mérés esetén nem a szomszédos pontok közti magasságkülönbséget kell figyelembe venni, hanem pl. minden második magasság közti képzeletbeli húr felezőmagasságához képest kell figyelembe venni a középső leolvasási értéket és a kettő különbségét kell összehasonlítani a két szélső pont közti távolsághoz tartozó tolerancia értékkel. Előnye viszont ennek a mérési eljárásnak, hogy nem csak az egymáshoz közeli pontokat lehet vizsgálni, hanem az egymástól távolabb eső mérési pontok közt is megkapjuk a síkpontossági adatokat.

Másik előtérbe kerülő szabvány a DIN 15185:1991. [2] A logisztikai csarnokokban a hatékony helykihasználás miatt egyre gyakrabban építenek olyan raktárakat, ahol a tárolási magasság eléri a 10-11 métert is, ugyanakkor a tároló sorok között alig van 1,5-1,8 méter, a hatékonyabb raktározás érdekében. Ehhez a geometriai kialakításhoz illeszkednek azok a targoncák, amelyek nagy sebességgel tudnak közlekedni a szűkfolyosón úgy, hogy közben 10 méter fölé emelik a rakományt. A targoncák közlekedési pályáját indukciós kábelek határozzák meg (DM: defined-movement area), hogy pontosan a folyosó közepén tudjon haladni, alig néhány cm-t hagyva a targonca úrszelvénye és a polc széle között.



16. ábra: Magasraktárban egyenetlen padló okozta dőlések

Ahhoz, hogy ez a valóban hatékony raktározási forma biztonságos és tartós legyen, elengedhetetlen az ipari padló ehhez illeszkedő magas minőségi szintje. A szakma ezeket az ipari padlókat ún. szűkfolyosós magasraktári padlónak nevezi (VNA: very narrow aisle), ahol a hazánkban leginkább elterjedt DIN 15185 [2] német szabvány szerinti a síkpontossági követelmény.

A szabvány előírja, hogy a targonca azonos tengelyen levő két kereke nyomvonalának a magasságkülönbsége a haladási irányra merőleges egy-egy keresztmetszetben legfeljebb mekkora lehet. A 6 m-es állványmagasságig nagyobb a megengedett magasságkülönbség, mint afelett, ezen kívül pedig a nyomvonalak távolságától is függ határérték. Minél szélesebb a folyosó, illetve a targoncakerek nyomvonalai minél messzebb vannak egymástól, annál nagyobb lehet a magassági eltérés.

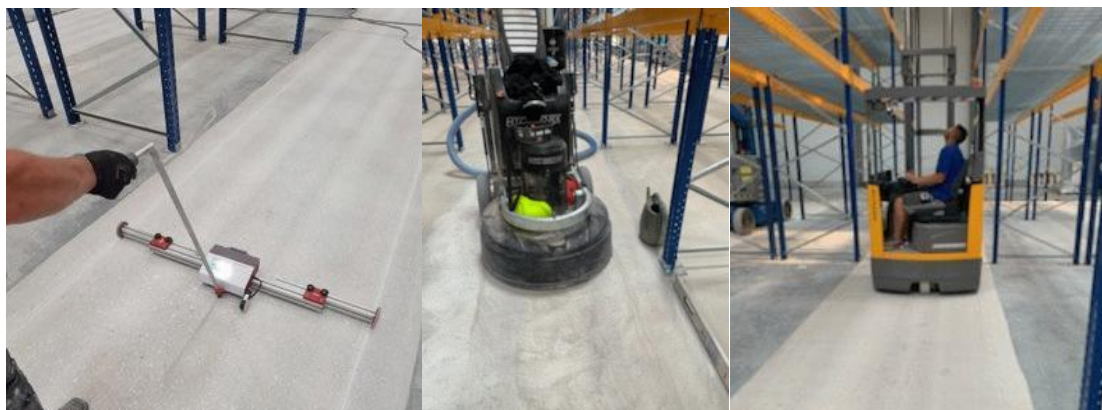
Két gyakran előforduló példát véve, az egyik esetben 1,4 m-re van egymástól a két kerék, a másik esetben a nyomtáv 1,6 m. Egy 11 m magas (6 m feletti rakatmagasságú) polcrendszer esetén a maximálisan megengedett magassági eltérés a padlófelületen, a nyomvonalon nem lehet nagyobb mint 2,0 mm (1,0-1,5 m-es nyomtáv esetén), illetve 2,5 mm (1,5-2,0 m-es nyomtáv esetén). Az ellenőrzést el lehet végezni pl. optikai szintezőműszerrel, ahol a magassági pontok távolságát 0,5 m-re vagy max. 1,0 m-re kell felvenni. Természetesen a viszonyítást mindig az egymással szemben levő pontokhoz szabad csak elvégezni. Ezzel a módszerrel, ha egy 40-50 m hosszú folyosót felmérünk és felveszünk a mérési adatokból két hossz-szelvényt, melyeket egymásra helyezünk, kirajzolódnak a hibás helyek, ahol 2,0 mm-nél vagy 2,5 mm-nél nagyobbak a szinteltérések. Ezeket a hibahatárokon kívül eső helyeket az alaprajzra célszerű rávezetni, mert egyrészt ezek alapján lehet meghatározni a javítási helyeket és a hibahelyek arányaiból lehet következtetni arra, hogy a padló milyen mértékben, hány százalékban volt megfelelő, illetve hibás.

Az azonos targoncatengelyen mért szintkülönbségekből ki lehet számolni, hogy a pl. 10-11 m-es magasságra emelt raklap milyen mértékben billen ki oldalra, mennyire veszélyezteti a síkpontatlanság a rendeltetésszerű használatot. Ha pl. a padló 1,5 m-en 3 mm-es szintkülönbségű, akkor az 11 m-es magasságban 2,2 cm-t kibillenést jelent a függőleges tengelytől.

A targoncák ezeken a szűk, kötőtpályás folyosókon nagy sebességgel közlekednek, ezért az oldalra való kibillenésen kívül a haladási irányban meglévő hullámosság is lényeges kritérium. A DIN 15185-ös szabvány [2] erre is kitér és azt a követelményt támasztja a rakodási magasságtól függetlenül, hogy a padlófelület hullámosságának a mértéke nem lehet nagyobb, mint 1 m-es hosszon 2,0 mm / 2 m-es hosszon 3,0 mm / 3 m-es hosszon 4,0 mm / 4 m-es hosszon 5,0 mm. Ez a követelmény enyhébb ugyan, mint a keresztirányú kritérium, de azért figyeljünk arra, hogy ez a követelmény éppen kétszer szigorúbb, mint a normál ipari padlók felületi egyenetlenségi toleranciája, amit a DIN 18202:2013-04 [16] 3. táblázat 3. sor szerinti. A mérést hosszirányban a DIN 18202 szabvány szerint kell elvégezni.

A szűkfolyosós magasraktári padlókat a fent bemutatott DIN 15185-ös követelményeknek megfelelően nem könnyű teljesíteni és szinte kizárt, hogy egy nagyobb, több ezer négyzetméteres ipari padlón egyáltalán ne legyenek olyan helyek, ahol a padló nem felel meg vagy a kereszt- és/vagy a hosszirányú követelményeknek. Ahol javítani kell, ott azt általában csiszolással lehet megtenni, a magaspontokat

lecsiszolva és a felületet helyileg szilárdságnövelő impregnálószerrel beeresztve lehet megtenni és természetesen a javítás után újra le kell ellenőrizni ezeken a helyeken a megfelelőséget.



9. fénykép: Kész betonfelület csiszolással kialakított síkpontossága és az ellenőrző mérés munka közben

Fontos, hogy a DIN 15185-ös szigorú szabványt a magasraktárakon belül kizárólag csak a kötőtpályás szűkfolyosókban kell alkalmazni, a polcokon túli szabad mozgású területeken elegendő a DIN 18202 szabvány betartása.

A harmadik említett TR34 [17] brit Concrete Society által kiadott műszaki előírás a legújabb, kifejezetten az ipari padlóhoz készült. A műszaki irányelv kifejezetten gyakorlatias, ebből adódóan olyan követelményszinteket határoz meg, amely az adott ipari padló funkciójához igazodik és főleg a targoncaforgalomra fókuszál. Megkülönbözteti a vízszintesességet (levelness) és síkpontosságot (flatness) a használati igényekhez igazodóan. Lehet egy padlófelület vízszintes, miközben hullámos (ez a gyakoribb), de van olyan eset is, amikor síkpontos egy padló, de nem vízszintes.

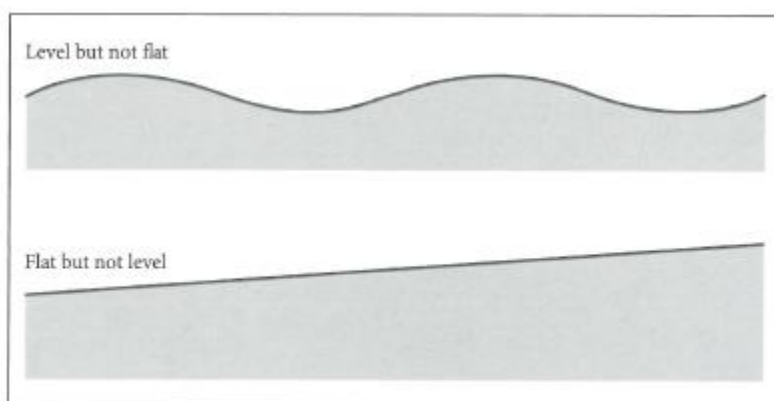


Figure 3.1: Flatness and levelness.

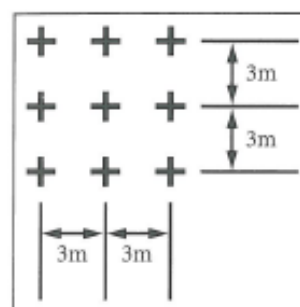


Figure 3.4: Property E, 3m grid.

17. ábra: Vízszinteség és síkpontosság megkülönböztetése

Engedékenyebb az irányelv azokra a padlószakaszokra nézve, ahol a targoncák bármely irányban közlekedhetnek és szigorúbb például a szűkfolyosós raktárakban,

ahol nagy sebességgel, villájukat felemelve akár 8-10 m magasra is járhatnak a targoncák.

Az FM (free-movement areas) zónákban a targoncák bármilyen irányban közlekedhetnek, fordulhatnak, az ipari padló bármely irányban azonos tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Az ilyen ipari padlók azok, melyeknél a funkcióváltás nem szokott gondot okozni, tehát rugalmas használhatóságúak (leginkább az FM2), mert nincsenek kitüntetett irányok, mint ahogy a DM (defined-movement areas) kötöttpályás padlóknál (pl. szűkfolyosós magasraktárak). Tehát az FM padlók bármilyen irányban azonos módon használhatók, de ezeket nem egyszerű (és főleg drága) utólag DM padlókká tenni, ahol egy-egy irányban már sokkal szigorúbb feltételek vonatkoznak mind a vízszintességre, mind a síkpontosságra.

Az FM követelmények 4 kategóriára vannak felosztva, azt kell kiválasztani ebből, ami az adott igényekhez igazodik. Az FM1 a legszigorúbb követelmény, 13 m magasságú emeléshez alkották meg a követelményt, a leggyakoribb FM3 pedig 8 m magas emelésig és raklapos, tömbös tároláshoz megfelelő padlókövetelményt ír elő. Az FM padlók minősítése kétféle tulajdonság (Property E és F) szerint történhet. Bármelyiket lehet vizsgálni külön is, de lehet mindkettőt is egyszerre.

Nem lehet kifogásolni az egész padló minőségét akkor, ha a mérések számának legalább 95%-ában megfelelő értékeket kapunk, tehát az irányelv megenged 5% eltérést úgy, hogy emellett egyetlen szomszédos szintkülönbség sem lehet 15 mm-nél nagyobb. Itt sincs osztályba-sorolás, hanem megfelelt vagy nem felelt meg kategóriákról lehet beszélni. A hibás részeket, illetve a nem megfelelő síkpontosságú ipari padlót lehet javítani pl. csiszolással és a síkpontosság elérése utáni impregnálással, hogy a felület tartóssága, kopásállósága, megmaradjon a csiszolás után is.

4. Az ipari padlók alatti anyagok bemutatása

Az ipari padló, mint burkolat alátámasztását az alatta lévő ágyazat és az altalaj együttesen biztosítja.

A padlón álló szerkezetek, valamint a rajta mozgó eszközök viszonylag kis felületen adják át a terheiket, ezért a padló tetején nagy feszültségek keletkeznek. A betonból készülő padló ezeket a nagy koncentrált feszültségeket el tudja viselni és a betonban való feszültségterjedésnek köszönhetően már mérsékeltebb feszültségek hárulnak az ágyazatra. Az ágyazat szerepe, hogy ezeket a közepes nagyságú feszültségeket elviselje és feszültségterjedés segítségével a feszültséget tovább csökkentse, hogy az altalajra már csak kisebb feszültségek adódjanak, amit a talajok is el tudnak viselni. Az ipari padlók esetében a terhek viselése nem feltétlenül az altalajnyírószilárdságának kimerülésére, így a törési állapot elkerülésére vonatkozik, sokkal inkább az alakváltozások „kordában tartására”.

A feszültség hatására minden anyagban összenyomódás fog bekövetkezni, ami alakváltozás a beton padlóban hajlítógénybevételt eredményez. Ahhoz, hogy a hajlítógénybevétel mértéke olyan alacsony maradjon, hogy azt a beton vasalás nélkül el tudja viselni, a süllyedéseket korlátozni szükséges. A süllyedések oly módon korlátozhatóak, hogy a feszültségterjedésnek köszönhetően az egyes rétegekre már csak olyan lecsökkent feszültségek hatnak, amik a rétegek anyaga által elviselhető és korlátozott alakváltozást eredményez. A feszültségterjedésből adódóan ezért alulról felfelé haladva egyre nagyobb merevségű anyagokat használunk. A teherviselésben résztvevő anyagok jellemzőinek rövid leírása az alábbiak szerint került összegyűjtésre.

4.1. Az ágyazatok anyaga

4.1.1. Homokos kavics

Hazánkban nagy mennyiségben, viszonylag sok helyen elérhető, így a beruházások helyszínéhez aránylag közel elérhető primer aggregátum. Legömbölyített szemcsealakja miatt kisebb nyírószilárdsággal rendelkezik, amiből fakadóan a teherbírása alacsonyabb, mint a zúzottkőé.

A teherbírás függ a szemnagyságtól és a szemeloszlástól. A kavicstartalom min. 65% kell legyen, hogy a kőváz felállhasson és a teherbírás biztosított legyen. A szemeloszlásnak folytonosnak kell lennie a szemcsék kiékelődése érdekében. A szemcsenagyság növekedésével arányosan nő a teherbírás is, így az aprókavicsból álló anyag az ágyazatépítésnél kevésbé használatos. A megfelelő kavicsok jellemző szemcsemérete 24-32mm. Az agyag+iszap tartalom ($S_{0,063}$) nagy hatással van a homokos kavics teherbírásának vízerzékenységére. A $S_{0,063} > 10\%$ tartalom esetén az elnedvesedés hatására az anyag nehezen tömöríthetővé válik, ún. gumizik, és a

teherbírása is jelentősen lecsökken. Azonban alacsony finomszemcse tartalom esetén $S_{0,063} < 5\%$ nincs jelen olyan kohéziós erő, ami a szemcséket összetartsa, így a teherbírás mind nedves, mind pedig száraz állapotban alacsony lesz. Ebből fakadóan a nagyobb teherbírású homokos kavics ágyazati anyagok esetében az $S_{0,063} = 5-10\%$ közötti értéke ajánlott. A jó teherbíráshoz szükséges szűk finomszemcse tartalom miatt nagy teherbírású homokos kavics csak ritkán akad, általában néhány bánya vagy a bányák egy-egy kisebb részében elhelyezkedően találhatók csak meg. A jó teherbírású homokos kavicsok saját modulusa $E_{2d} = 90-140 \text{ MPa}$, míg a kisebb kavicsszemcséjű vagy kavicsstartalmú, esetleg kedvezőtlen szemeloszlásúaké $E_{2d} = 60-90 \text{ MPa}$. Ebből az is következik, hogy homokos kavics anyagokból nem mindig építhetők meg az ágyazatok, hiszen teherbírásuk miatt az általánosan minimumnak vehető $E_2 > 80 \text{ MPa}$ teherbírású ágyazatok nem feltétlenül állíthatók elő belőlük. Homokos kavics ágyazat alkalmazása esetén ezért mindenképpen szükséges próbaszakaszt építeni az anyag teherbírásának vizsgálata céljából.

Az alacsony finomszemcse tartalmú homokos kavics ágyazatoknál az ágyazat anyaga nem tud összeállni, ezért az munkaplatformként sem tud működni. Bár az anyag tömegében jó teherbíró, kevésbé kompresszibilisnek tekinthető, a finomszemcse adta látszólagos kohézió miatt a felszínen az anyag kitér a terhelés alól, ezért a szállítóberendezések és a munkagépek is eláshatják magukat. A teherbírásnövelés egyik módja lehetne a más országokban alkalmazott törés és zúzás, ami a kavics és homok szemcséknek éles, tört felületet, így nagyobb nyírószilárdságot eredményezne, másik mód lehet a kötőanyaggal való kezelés vagy a zúzottkővel való keverés.



10. fénykép: Homokos kavics (forrás: www.nyekikavics.hu)

4.1.2. Zúzottkő

A zúzottkő élesszemcséjű anyag, aminek köszönhetően a szemek jobban egymásba tudnak kapaszkodni, ezért a szemalak miatt a homokos kavicsoknál nagyobb nyírószilárdsággal rendelkezik. Ennek köszönhetően a zúzottkő a felszínen sem tér ki a terhelés alól, így megfelelő munkaplatform, kompakt ágyazat építhető belőle.

A teherbírása a finomszemcse tartalomra szintén érzékeny, de ebben az esetben az érzékenység egy irányú, mivel csak a túlzott finomszemcse tartalom hat károsan a teherbírásra, a finomszemcse hiánya nem okoz alacsonyabb teherbírást. Minél kisebb szemű zúzottkővet használunk, annál érzékenyebb a finomszemcse tartalomra. A tapasztalatok alapján a közepes szemcseméretű $d_{\max}=40-80\text{mm}$ zúzottkövek esetében az $S_{0,063}$ akár 10%-ig is felmehet, azonban az apróbb szeműeknél ($d_{\max}=20-40\text{mm}$) célszerű ezt 5% alatt tartani. A finomszemcse tartalomra belül is javasolt megkülönböztetni, hogy az kőzetliszt vagy agyag anyagú. Az agyag anyagú finomszemcse tartalom az agyakok felületi töltése miatt több vizet képes megkötni, ezért a bedolgozhatósága és a teherbírása is érzékenyebb.



11. fénykép: Folytonos szemeloszlású zúzottkő (forrás: www.dolomit-gant.hu)

A finomszemcse hatására a zúzottkő ágyazat gumizni kezd, a bedolgozhatósága nehézkessé válik, a teherbírása lecsökken. A finomszemcse tartalom és a szemeloszlás kontrolállása érdekében célszerű minősített anyagot használni (pl.: FZKA folytonos szemeloszlású zúzottkő), ahol a finomszemcse tartalom és a szemeloszlás folytonossága is garantált. A nem minősített zúzottkövek esetében (pl. 0/80-as zúzottkő) ajánlott megvizsgálni, hogy mennyire homogén anyag szállítható a kiszemelt kőbányából és a finomszemcse tartalom, valamint a szemeloszlás változékonyság milyen hatással van az ágyazati anyag teherbírására. A nagy szemcséjű $d_{\max}>80\text{mm}$ zúzottköveket nem ajánljuk ágyazatépítésre vagy legalábbis az ágyazatok felső 30cm vastag részében való beépítésre. Ezek a nagy szemcséjű anyagok általában már nem folytonos szemeloszlásúak, így az ágyazati anyag kiékelődése sem hozható létre. A nagy szemcseméret miatt a tömörítés sem végezhető el a szükséges mértékben, így a nagy teherbírású felső rész megépítése nem valósítható meg. Ezeket az anyagokat ezért a vastagabb ágyazatot igénylő feladatok esetében az ágyazat alsó részében lehet alkalmazni. A nem folytonos szemeloszlású zúzottkő ágyazatoknál a kisebb szemű kőfrakció hiánya miatt a felső részt kisebb szemcséjű pl.: 0/22 zúzottkővel szokás kiékelni. Sokszor előfordul hiba a kivitelezések során, hogy a kiékelő réteget túlzott vastagságban terítik fel, így csökkenti a teherbírását az ágyazatnak.

A zúzottkő anyagok teherbírása magasabb, mint a kavics anyagoké, az alacsony finomszemcse tartalmú, megfelelő szemalakú és folytonos szemeloszlású anyagok saját modulusa akár a $E_{2d}=200\text{MPa}$ értéket is meghaladhatja, de kedvezőtlen paraméterű anyagok esetében ez lecsökkenhet $E_{2d}=75\text{MPa}$ körüli értékre vagy az alattira.

4.1.3. Ipari hulladékok, másodlagos nyersanyagok

A primer aggregátum készletek tervezett felhasználása, a környezetvédelmi szempontok és a hulladékgazdálkodás fejlődése hazánkban is előtérbe helyezte az elmúlt évtizedekben a másodlagos nyersanyagok felhasználását. Úgy véljük, nagyon fontos külön szólni ezekről az anyagokról, beépítésükkel segítve a környezetvédelmi szempontokat. Az ipari padlók alatti ágyazatok építésénél felhasználható másodlagos nyersanyagként tekinthetünk a kohó salakokra és a tört inert hulladékra (pl. tört beton). A létrejöttük miatt ezek az anyagok szintén élesszemcsésű anyagok, amelyek jól egymásba kapaszkodva magas nyírószilárdságú ágyazatként tudnak szolgálni. Szakirodalmi tanulmányok és a hazai tapasztalat alapján elmondható, hogy a teherbírásuk vetekedik a zúzottkövek teherbírásával, de természetesen ezen anyagok teherbírása is alapvetően a szemeloszlástól függ.



12. fénykép: Minőségi törtbeton (forrás: www.bekaslogistic.hu)

A mechanikai tulajdonságok vizsgálata előtt azonban legfontosabb minden esetben meggyőződni ezen anyagok felhasználása esetén, hogy az eredetükből adódóan nem károsak-e a környezetre. A salakok esetében az anyag létrejöttékor kerülhetnek olyan veszélyes anyagok a salakba, amelyek kioldódva veszélyesek lehetnek a környezetre. A tört inert hulladékok esetében pedig a funkcióból (pl.: olajtermékek tárolása, veszélyes anyagok tárolása) adódhat olyan környezetre veszélyes koncentráció az inert hulladékban, ami miatt az károsíthatja a beépítésre kerülő terület környezetét. Az alábbiak miatt ezért csak olyan inert anyag építhető be, ami megfelel a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló jogszabályban [18] foglalt határértékeknek.

Amennyiben a környezetvédelmi szempontok alapján az anyag megfelelőnek tekinthető az ágyazat megépítésére, úgy az anyagok geotechnikai alkalmasságának megítélésénél ugyanazokat a szempontokat kell figyelembe venni, mint a primer aggregátumoknál. Amennyiben az inert anyag valamely föld- vagy kőanyaggal keverve kerül felhasználásra, úgy a minősítést a keverékről kell elvégezni. A törtbetonoknál jellemző, hogy szemeloszlás szempontjából nem osztályozott törtbetont kívánnak beépíteni, aminek mechanikai tulajdonságai messze elmaradnak az osztályozott törtbetonétól.

Újrafeldolgozott cserép- vagy téglagranulátum – a nagymértékű aprózódási hajlam és vízfelvétel miatt – csak ideiglenes szerkezetekbe építhetők. Ebből adódóan felvonulási utaknál és munkaterületek kialakításakor lehet csak őket alkalmazni, az ipari padlók alatti ágyazatba már nem szabad beépíteni őket.

Osztályozott kohósalak, beton- és kőzetgranulátum ágyazati anyagként való felhasználás esetén az aprózódással szembeni ellenállóságukat meg kell vizsgálni. Erre rutinszerűen a LosAngeles és mikro-Deval vizsgálatok használhatóak.

4.1.4. Talajstabilizációból készülő anyagok

A talajstabilizációk célja, hogy segítse a helyben megtalálható talajok felhasználhatóságát, ezzel csökkentve a beszállítandó szemcsés anyagok mennyiségét. A nagy alapterületű ipari épületek esetében nagyon fontos cél a beépítési területen a földgyenleg elérése, ezért az épületek padlója általában a meglévő térszínen vagy kis mértékű töltésbe, illetve bevágásban épül meg. A hazai talaj adottságok miatt, a térszín közelében a negyedidőszaki üledékek iszapos homok; homokos iszap és agyag talajai találhatóak meg. Ezek a talajok általában földmű építésre alkalmas talajok (M-3 és M-4 kategóriába sorolhatóak), de teherbírásuk vízre rendkívül érzékeny, így az ipari padló alatti teherviselésbe csak kevésbé bevonhatóak. Kedvező időjárási körülmények esetén a teherbírásuk elérheti az $E_2=30-40$ MPa értéket, azonban elnedvesedett állapotban a teherbírásuk $E_2=0-15$ MPa értékre romlik le. Ezen okok miatt az ágyazatok méretezése során nem ajánlott $E_2=15-25$ MPa-nál nagyobb teherbírással számba venni ezeket a talajokat.

A talajstabilizációk során a talajokhoz kötőanyagot (pl.: mész, cement, HRB, polimer) keverünk, aminek köszönhetően a talajok teherbírása és a vízzel szemben való ellenállásuk is növekszik. A kötőanyag mennyisége általában 2-6% közöttinek vehető, így kis mennyiségű anyag helyszínre szállításával valósítható meg egy nagy volumenű „talajcsere”.

A talajstabilizációk a talajkezelések azon fajtája, ahol a talajok tulajdonságaiban bekövetkező változások stabilizálásra kerülnek, tehát hosszú távon garantált a talajok javulása, vízzel és faggyal szembeni ellenállás és a térfogatváltozás megszüntetése. Ahhoz, hogy ezt a tartós ellenálláshoz szükséges megfelelő típusú és mennyiségű

kötőanyagot ki lehessen választani tartóssági vizsgálatokat kell végezni a laboratóriumban. A helyszínen ilyen típusú vizsgálatok elvégzésére sajnos nem adódik mód, mivel ott a környezeti hatások (pl.: több napon keresztül történő áztatás, fagygal szembeni állóképesség) nehezen megvalósítható. A talajstabilizációk kötőanyag kiválasztására vonatkozó eljárást az újonnan megjelenő e-Ut 06.02.13. [19] szabályozza.

A talajstabilizációval előállított anyagok a homokos kavicsához és a zúzottkőhöz hasonló teherbírású anyagok, így az ágyazattervezésnél számba vehető saját modulusa $E_{2d}=120-200$ MPa közöttire tehető.

A talajstabilizációk felülete kényes a roncsoló hatásokra, ezért mechanikai védőréteget szükséges rájuk építeni. A stabilizációk mechanikai sérülései a stabilizációs réteg megbomlását eredményezheti, ami általában viszonylag gyors leromlásokat okoz a talajstabilizációból készült rétegek esetében. Az ágyazat teherbírásának megtartása érdekében a mechanikai védőréteget célszerű zúzottkőből készíteni és vastagsága legalább 10 cm legyen. Az ágyazat tetején lévő teherbírás meghatározásakor számításba kell venni a mechanikai védőréteg esetleges teherbírás javító vagy lerontó hatását.



13. fénykép: Meszes talajstabilizáció (forrás: www.inreco.hu)

A talajstabilizációk éppoly kényesek a megfelelő tömörítésre, mint a normál talajok, szemcsés anyagok, ezért az optimális víztartalomnál szükséges a bedolgozásuk. A természetben előforduló talajoknak azonban sokszor magasabb vagy alacsonyabb a víztartalmuk. Ebből adódóan a talajstabilizáció alkalmazásakor vagy többlet mészhozzáadása vagy a talaj mésszel való előszárítása, míg a száraz talajok esetében a bedolgozás során víz hozzáadás szükséges.

A megfelelő minőségű talajstabilizációk másik fontos eleme a talajok kellő mértékű felaprítása és a kötőanyag megfelelően történő homogenizálása. Ezek elérése érdekében adapteres vagy önjáró talajmarókat kell alkalmazni.

A mész és cement alapú kötőanyagok esetében hidratációs folyamatok is zajlanak, ezért az ehhez szükséges nedvességet biztosítani szükséges. Ezért a talajstabilizációknál kiemelten fontos az utókezelés, ami a stabilizált réteg nedvesen tartását jelenti.

4.2. Hőszigetelő anyagok

A fenntartható környezet érdekében elemi érdekünk, hogy az épületeink fűtéséhez és hűtéséhez szükséges energiafelhasználást minimalizáljuk. Ezért az épületek homlokzati és tetőszigetelése mellett gondoskodnunk kell a padlók hőszigeteléséről is. A fűtött épületek esetében praktikus a padló alatt teljes felületen hőszigetelést alkalmazni, míg temperált épületek esetében a szélső 2,0 m széles sávot szokás hőszigeteléssel ellátni a téli hidegek miatti hőszigetelés érdekében. Az ipari padlók alatti hőszigetelés elkészítésére jelenleg két anyag felhasználása járatos, a polisztirol táblás hőszigetelő, illetve az ágyazati anyagként is funkcionáló üveghab granulátum.

4.2.1. Polisztirol hőszigetelő anyagok

A táblás polisztirol hőszigetelő anyagok közül a talajnedvesség jelenléte miatt a zártcellás XPS jelű anyagokat kell padlók alatti hőszigetelésnél használni. Az XPS lapokat az ágyazat tetejére, közvetlenül a padló alá fektetik le. Az anyag hátránya, hogy a hőszigetelésen a padló alatti ágyazati rendszer teherbírása már nehezen mérhető meg, mivel a tárcsás teherbírásmérés ezeken a polisztirol táblákon nem végezhető el. A hőszigetelés, mint egy közbenső „szivacs” réteg az ágyazat teherbírását lerontja, de a hőszigetelő anyag teherbírása és a réteg vastagsága alapján a padló ágyazási tényezőjének számítása során számba kell venni.

A polisztirol hőszigetelő anyagok padlóknál alkalmazott típusai emelt teherbírással rendelkeznek. Általában három jellemző teherbírási osztályba sorolhatóak, ezek az XPS 300, XPS 500 és XPS 700 jelölésű termékek. A jelölés arra utal, hogy mekkora feszültség hatására következik be az anyagban a 10%-os fajlagos alakváltozás, tehát az XPS 300 esetében 300 kPa nyomás hatására következik be az $\varepsilon=10\%$ -os fajlagos alakváltozás, ami a jellemző 10-15cm-es hőszigetelő rétegvastagság esetén 10-15mm összenyomódást jelentene. Ez a nagyságú összenyomódás általában elfogadhatatlan egy ipari padló esetén és ilyen nagyságú feszültségek is csak ritkán adódnak a padló alatti síkon, ezért a tervezés során célszerű a gyártók által megadott $\varepsilon=2\%$ -os fajlagos alakváltozáshoz tartozó feszültséget is megnézni és azt alkalmazni.



14. fénykép: Polisztirol hőszigetelés ipari padlóknál (www.betonujsag.hu)

A polisztirol hőszigetelő anyagok esetében probléma, hogy az ágyazat minősítése, ami egyben a tervezési paraméterek ellenőrzése a helyszínen nem, vagy csak nagyon nehezen végezhető el. Azonban a gyártott termék gyártásközi minőségének köszönhetően a termék tulajdonságai a gyártó által garantáltak, így a statikai számításokban megfelelően számításba vehetők az ágyazási tényező meghatározása során. Az ipari padlók építésénél táblás hőszigetelő anyag alkalmazása esetén betonpumpát kell a betonozáshoz használni, mivel a betonmixerek nem mehetnek rá a már lefektetett hőszigetelő anyagra. További alkalmazásbeli problémának mondható, hogy a táblák kapcsolatánál lévő esetleges mozgásokból eredő padlórepedések elkerülése érdekében a padló kivitelezők a táblás hőszigetelések esetén egy réteg betonacél háló beépítésére kényszerülnek.

4.2.2. Üveghab granulátum

Az üveghab granulátum az elmúlt években jelent meg a magyar építőiparban. Az üveghab egy habosított üveg anyag, amely zártcellás tulajdonsága miatt hőszigetelő anyagként alkalmazható. Eredetileg táblásított formában alkalmazták ezt is, döntően vegyipari gyáraknál, mivel inert jellege miatt a vegyi anyagokkal és a vízzel, nedvességgel, valamint ami igen fontos volt, hogy hővel szemben is ellenálló volt. Az elmúlt c.ca. 30 évben azonban granulátum formában is gyártani és használni kezdték a mélyépítésben.

A granulátum forma azt jelenti, hogy az anyag nagy szemcsékből álló halmaz, tehát úgy néz ki, mint a kavics vagy zúzottkő anyagok. Ez a forma a gyártástechnológiából adódik, az anyagvastagság úgy van beállítva, hogy a gyors kihűlés okozta hőkockák miatt a táblában gyártott termék 20-60 mm nagyságú szemcsékre törjön szét. A szemcsés anyaghoz hasonló összetétel miatt az ágyazatépítésnél alkalmazott durvaszemcsés anyagokhoz hasonlóan építhető be, így ágyazati anyagként is felhasználható. Ebből

adódóan az ágyazat minősítése során a járatos minősítési módszerekkel az ágyazat minősítése elvégezhető.



15. fénykép: Üveghab hőszigetelés ipari padlóknál (forrás: www.energocell.hu)

Az üveghab granulátum általában 20-60mm nagyságú szemcsékből áll, a szemcsék felszíne a zúzottkőhöz hasonlóan éles, tört felületű, így nyírószilárdsága magas. A habanyag szilárdsága azonban c.ca. egy nagyságrenddel kisebb, mint a kőanyagoké, ezért a halmaz teherbírásának korlátja részben a szemcsék összetörése, aprózódása. Ennek érdekében az üveghab granulátum felszínén működő feszültséget 150kPa értékben javasolt korlátozni [20]. Amennyiben a padló alatt ennél nagyobb feszültségek lépnek fel, úgy az üveghab granulátumra szemcsés anyagú teherelosztó réteg beépítése szükséges.

Az üveghab granulátum szintén gyárban előállított, gyártásközi ellenőrzéssel készülő anyag, így tulajdonságai megfelelő bedolgozás mellett garantáltak. A hazánkban jelenleg gyártott és forgalmazott üveghab granulátum tervezési teherbírási modulusa $E_{2d}=50\text{MPa}$ [20], míg más termék esetében a gyártói adatlap értékét szükséges a tervezés során számba venni.

4.3. Az altalaj tulajdonságai

Az altalaj megtámasztó szerepe legalább annyira fontos az ipari padlók esetében, mint az ágyazatoké. Míg az ágyazatnak a szerepe, hogy a padló alatt átadódó nagyobb feszültségeket vegye fel és azok hatására csak kis mértékben nyomódjon össze, addig az altalaj az ágyazat megtámasztását és az onnan érkező feszültségek felvételét biztosítja. Ezek alapján úgy tűnhet, hogy egyszerűbb lenne az altalajt kiiktatni a teherviselési rendszerből és csak az ágyazati rétegekkel felvenni a padlóról érkező feszültségeket, azonban a nagyon vastag ágyazatok építése a gazdaságosság és

környezetvédelem szem előtt tartása miatt nem ajánlott. Az ipari padlókat kis felületen érő terhelések (pl.: polcláb, targonca kerék) a feszültségeloszlás miatt viszonylag gyorsan leépülnek, így az ágyazat alatti altalajok felső részében okoznak csak összenyomódásokat, azonban a nagyobb felületű terheknél (pl.: papírtekercsek, palettás áruk, ömlesztett áruk) a feszültségek a mélyebb talajzónába is behatolnak, ahol nagy mértékű süllyedéseket eredményeznek.

Az ipari padló, ágyazat és altalaj hármában az altalaj a leggyengébb láncszem és a talajok sokfélesége miatt egyben a legkevésbé is tipizálható. Az ipari padló betonja gyárban készül, így talán a hármából ennek mechanikai tulajdonságai vehetők legbiztosabban számításba. Az ágyazat anyaga általában egy bányából származik, amelynek terméke minősítéseken esik át, így bár számolni kell a keretek (szemeloszlás határgörbék) közötti bizonytalansággal, a várható mechanikai tulajdonságok jól becsülhetők. Ezekkel szemben a különböző beépítési területeken eltérő talajviszonyokkal találkozhatunk, amelyek mechanikai tulajdonságait csak az építési területre készített, a rétegződést, talajvízhelyzetet és a talajparamétereket ismertető talajvizsgálati jelentés alapján vagy speciális kiegészítő vizsgálatok szerint tudjuk meghatározni.

Az ipari padló megépítését szolgáló talajvizsgálati jelentés esetében ezért kiemelten fontos, hogy a padló környezetében lévő talajokat részletesen jellemezze. A viszonylag sík területek esetében a padló várhatóan a térszín alatt közvetlenül található talajokra terhel majd, így ezen helyszínek esetében különösen fontos az ágyazat fogadására nem alkalmas humuszos feltalaj vastagságának megállapítása és a feltalaj alatti talaj részletes vizsgálata. Ennek érdekében javasolt a feltalaj alól is közvetlenül talajmintát venni és annak tulajdonságait megvizsgálni a talajvizsgálati jelentés készítésekor. A lejtős területek esetében várhatóan bevágások és a bevágási anyagból készülő feltöltések készülnek majd, így ott a mélyebben fekvő rétegek tulajdonságai válhatnak dominánssá.

Az altalajok jellemzése során a teherbírásuk jellemzése mellett fontos figyelni a talajok speciális tulajdonságaira is. Az agyag talajok jelenléte esetén külön ki kell térni a térfogatváltozási hajlamra és annak az ipari padlóra gyakorolt várható hatására. Térfogatváltozó talajok jelenléte esetén fontos a minél vastagabb nem térfogatváltozó rétegek létrehozása, hogy az ebből eredő hatások már lecsökkenve érhessék az általában vasalatlan, így hajlítást kevésbé felvenni képes ipari padlót. Különösen térfogatváltozó talajok és hidrológiai szempontból kedvezőtlen körülmények (pl.: rétegvizek) jelenléte esetén megfontolandó a vasalt padló alkalmazása. Az agyag talajok térfogatváltozó hajlama mésszel megszüntethető vagy mérsékelhető [21], így a talajcsere hatékonyan csökkenthető a helyi talajok felhasználásával. Szintén körütekintő geotechnikai tervezést igényel a roskadásra veszélyes talajok jelenléte, ahol a víz távoltartása és szerkezet erősítése elengedhetetlen.

Az ipari padlók tervezésekor meg kell tervezni az ágyazatok tetején várható teherbírás. Az ágyazat teherbírása az alatta lévő altalaj teherbírásától függ, ezért az ágyazattervezés első lépéseként meg kell határozni az altalaj tetején várható teherbírás. A talajok teherbírása függ az adott talaj típusától és állapotától. Általánosságban elmondható, hogy a szemcsés talajoknak nagyobb, míg a kötött talajoknak kisebb a teherbírása. A teherbírás közvetlen kapcsolatban áll a nyírószilárdsággal, ezért a szemcsés talajok teherbírása nagyban függ a finomszemcse tartalomtól és természetesen a finomszemcse által felvett víz mennyiségétől. A talajok teherbírása egy adott talajállapothoz kötődik, mely a tömörség és a víztartalmi állapot függvénye, így nem állandó érték. Az ipari padlók esetében az altalajt, a töltéspítésként készült földmű tetejét úgy kell kialakítani, hogy a földműtükrön, az ágyazat teherbírásához szükséges kiindulási teherbírás tartósan meglegyen, még a leromlott talajállapot esetében is.

A földművek teherbírásstervezésének részletes menetét az e-Ut 06.02.11:2022 [22] útügyi műszaki előírás tartalmazza, amit néhány fontos elemét átemelve mutatunk be röviden.

A talaj és ágyazatból összeálló rétegszerkezet teherbírás-tervezése az **E_2 (MPa) teherbírási modulusok** meghatározására épül. A következő teherbírási modulusokat értelmezzük a tervezésnél:

E_{2i} – az MSZ 2509-3 [23] szerinti statikus tárcsás terhelés második terhelési ágán mért rugalmassági modulus. Ezt tekintjük az E_2 teherbírási modulus alapértelmezésének, mely az adott talaj vagy rétegrendszer mérés kori (i -index) talajállapotát tükrözi. Az adott talaj talajállapotát modellezve az E_{2i} érték laboratóriumban is megállapítható vagy tapasztalati adatok alapján felvehető. Az E_{2i} érték fenti szabványtól eltérő helyszíni méréssel (pl.: dinamikus könnyűejtősúlyos mérések útügyi műszaki előírás [24]) is megállapítható, az adott talajkörnyezetnek megfelelő kalibrálás alapján;

E_{2d} – egy talajréteg várható leromlott állapotára jellemző tervezési teherbírási modulus. Értékét a várható változásokat szimulálva lehet a terepen közvetlenül megmérni, vagy az állapotváltozások és hatásaik mérlegelése alapján lehet a laboratóriumban modellezni, illetve értékét tapasztalati adatok alapján (esetleg) közvetlenül fel lehet venni;

E_{2m} – az út tükörszint alatti rétegrendszer méretezési teherbírási modulusa, mely az itt található talajok tartósan várható állapotát valószínűsíti. Az E_{2m} értékét az E_{2d} értékekből a rétegződés figyelembevételével lehet számítani, vagy a tényleges rétegződésű földművön végzett mérésből az állapotromlások hatásának számításba vételével vagy szimulálásával megállapítani.

Az utak esetében nagy jelentősége van az éves várható csapadékmennyiségnek, mivel az utak burkolata viszonylag keskeny, illetve részben vízáteresztő, így a földművek utólagos elnedvesedése nagyobb kockázatot jelent, mint az ipari padlóknál. Ezért az útügyi műszaki leírásban megadottaknál kevesebb paramétert lehet figyelembe venni.

Ezek alapján ipari padlóknál a teherbírás megtervezéséhez a következőket szükséges mérlegelni:

- a talajvízszint közelsége,
- a talajfajta, a beépítéskor elérhető állapota, és a leromlás lehetséges mértéke.

Tervezési talajvízszintként a tervezést megelőző ötven évben észlelt legmagasabb talajvízszintet ($\dot{E}_{max}$ – becsült maximális talajvízszint) lehet elfogadni, de figyelembe kell venni az építés és az esetleges más hatások miatt a jövőben várható változásokat. Az altalaj szempontjából kedvezőtlennek kell tekinteni, ha a tervezési talajvízszint az ipari padló szintjét 2,0 méternél jobban megközelíti.

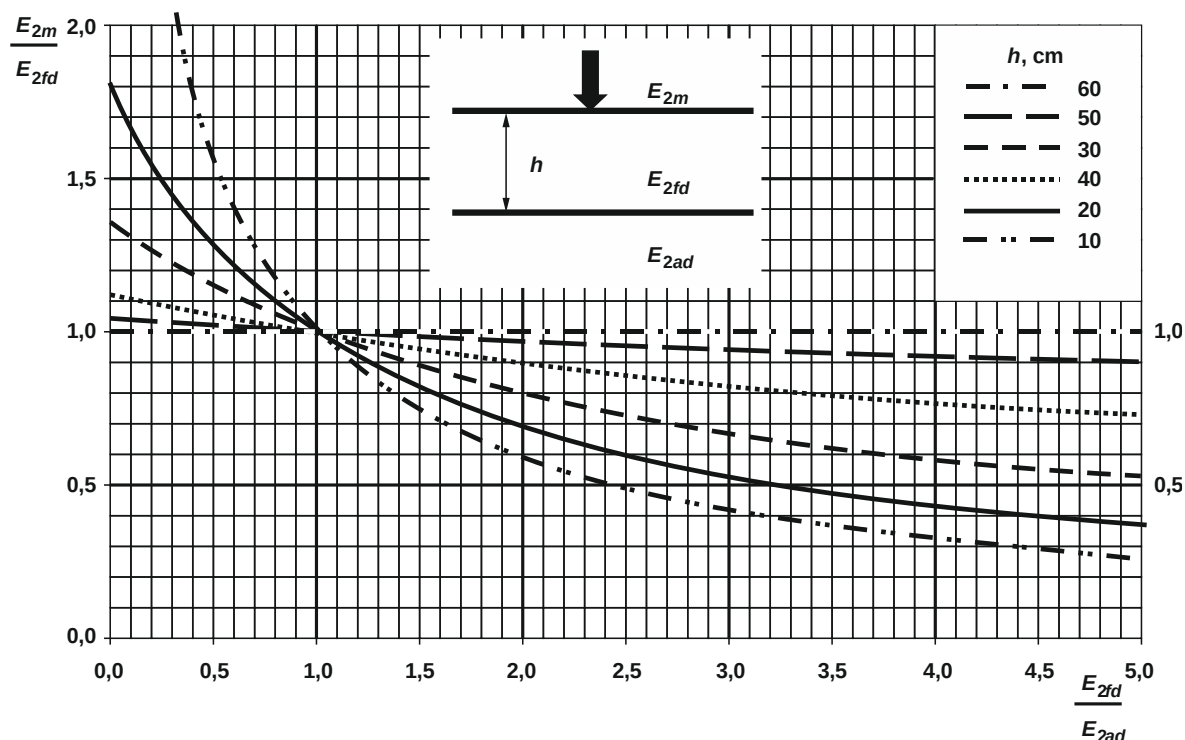
A földmű felsőrészben használható anyagok állapotát illetően feltételezhető, hogy a beépítéskor a tervezett tömörséget eléri, és az későbbiek során sem változik jelentősen. A talajok teherbírása a beépítéskori állapothoz képest a víztartalom függvényében változhat, amennyiben már a héjalás rákerült az épületre, úgy csapadék okozta elázás és teherbírásvesztés már nem várható. Amennyiben az altalaj elnedvesedése valószínűsíthető, úgy arra kell számítani, hogy a kötött és átmeneti talajok teherbírása elnedvesedés hatására drasztikusan csökkenhet, míg a szemcsés vagy stabilizált talajok teherbírása jelentősen nem változik. A teherbírás és annak változása helyszíni és laboratóriumi mérési adatok elemzésével, összehasonlítható tapasztalatok értékelésével vehető számításba. Ilyen tapasztalati értékekre mutat példát a 6. táblázat.

6. táblázat: Az E_{2d} tervezési teherbírési modulus felvétele a talajfajta alapján

Talajfajta		Szemcseátmérő-feltétel $S_{0,125}$, %	A figyelembe vehető tervezési teherbírési modulus (E_{2d} , MPa)
		Egyenlőtlenségi mutató feltétel, C_u	
		Plaszticitási index feltétel I_p , %	
jele	megnevezése		
Szemcsés talaj			
I	Homokos kavics, kavics	$S_{0,125} < 10\%$; $C_u > 6$	55-65
II	Kavicsos homok		40-50
III	Kavics, homok	I-II és IV-VII nem sorolható	30-40
IV	Iszapos, agyagos kavics	$10 \leq S_{0,125} < 20\%$	20-60
Átmeneti talaj			
V	Iszapos, agyagos homok	$10 \leq S_{0,125} < 20\%$	20-50
VI	Erősen agyagos	$20 \leq S_{0,125} < 30\%$	15-40
VII	vagy erősen iszapos kavics illetve homok	$30\% < S_{0,125}$	10-30
VIII	Homokos iszap korábban homokliszt, iszapos homokliszt)	szemcsés/átmeneti talajok, kötött/átmeneti talajok, $I_p < 10\%$	10-25
Kötött talaj			
IX	Kissé kötött és közepesen plasztikus	iszap és sovány agyag, $10 \leq I_p < 20\%$	10-25
X	Közepesen kötött és nagyon plasztikus	közepes és kövér agyag, $20\% \leq I_p$	10-20

Egy talaj esetében a teherbírás nagyságát és a víztartalom teherbírásra gyakorolt hatását a következő módszerekkel lehet megállapítani:

- CBR-vizsgálattal az MSZ 2509-3 [23] szerint, és egy meghatározott CBR (%) értékből az E_2 (MN/m²) teherbírási modulus az $E_2=10 \cdot \text{CBR}^{2/3}$ képlettel számítható,
- terepi tárcsás terheléssel az MSZ 2509-3 [23] szerint próbatöltéssel az E_2 teherbírási modulus mérhető,
- az építés helyén (környezetében) azonos talajokkal korábban épült földműveken végzett, dokumentált és elemzett mérések tapasztalataira is alapozható a teherbírás tervezése,
- a jellegzetes talajok talajállapot-leromlását tükröző E_{2d} tervezési teherbírási modulusára ad értékeket a 6. táblázat is.



18. ábra: Az egyenértékű teherbírási modulus meghatározása két talajréteg esetén

Ha a tervezés során pontosabb vizsgálat nem készül, akkor a 18. ábra segítségével határozható meg az E_{2m} méretezési teherbírási modulus, értelemszerűen az altalaj és az ágyazati rétegek tervezési teherbírási modulusaival (E_{2d}) számolva.

A kivitelezés ellenőrzésekor mért E_2 érték lényegében a méréskori talajállapot melletti teherbírást mutató E_{2f} -érték. Ez az érték nem szabad, hogy kisebb legyen a rétegrendszer E_{2m} méretezési teherbírási modulusánál. A mért és a kivitelezés ellenőrzésére előírt E_2 értékek összevetésénél a méréskori talajállapot és az E_{2m} képzésénél vett talajállapot összehasonlító elemzésével készüljön a kiértékelés.

4.4. Geoműanyagok

A különböző geoműanyagok eltérő funkciókat tudnak ellátni: elválasztás, szűrés, szigetelés, erősítés, drénezés és erózióvédelem. Ipari padlók esetében alapvetően az elválasztás és az erősítés funkciókat használjuk ki. Az elválasztás funkció különböző szemcse-összetételű talajok összekeveredésének megakadályozását szolgálja, amit geotextíliával lehet megoldani. Az erősítés célja - amit geotextíliával és georácscsal oldhatunk meg - pedig a talajok teherbíró képességének növelése, mechanikai viselkedésének javítása a húzóerők felvételével.

Geotextília: nem szőtt vagy szőtt kialakítású sík, áteresztő lemez, amelyet talajra terítve vagy más geotechnikai anyaghoz kapcsolva használnak mérnöki szerkezetekben.

Georács: extrudált lemezből lyukasztással kialakított, hegesztett vagy szőtt kapcsolatú síkbeli szerkezet, egy- vagy több irányú húzóerő felvételére képes geoműanyag, amelyet a talajra, kőzetre terítve használnak teherviselő elemként mérnöki szerkezetekben.

A geotextília az elválasztási funkcióját akkor tudja teljesíteni, ha a beépítés során működő hatások (építési forgalom, tömörítés, szemcsés talaj jellemzői) nem szakítják el vagy lyukasztják át. Az ezekkel szembeni ellenálló képességet célszerű minősíteni, amelyre megoldásként a GRK (geotextília robosztussági kategória) osztályba sorolás szolgál.

7. táblázat: A geotextíliák kiválasztásához szükséges AS osztályok meghatározása [22]

Osztály	Legömbölyített szemcséjű, szemcsés talajok	Éles szemcséjű, zúzott kövek
AS1	Kedvező, nem okozhat sérülést	–
AS2	Durva, vagy vegyes szemcsékből álló talaj	
AS3	Durva, vagy vegyes szemcsékből álló talaj <40% kavicsstartalommal	Durva, vagy vegyes szemcsékből álló talaj
AS4	Durva, vagy vegyes szemcsékből álló talaj >40% kavicsstartalommal	Durva, vagy vegyes szemcsékből álló talaj <40% kavicsstartalommal
AS5	–	Durva vagy vegyes szemcsékből álló talaj >40% kavicsstartalommal

8. táblázat: A geotextíliák kiválasztásához szükséges AB osztályok meghatározása [22]

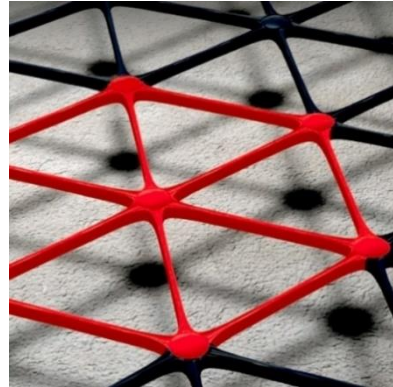
Osztály	Beépítési és tömörítési technológia	Nyomvályú mélysége az építési forgalom hatására
AB 1	Kézi	Jelentéktelen építési forgalom
AB 2	Gépi	Kis nyommélységű építési forgalom (<5 cm)
AB 3		5–15 cm nyommélységű építési forgalom
AB 4		15–30 cm nyommélységű építési forgalom
AB 5		Nagy nyommélységű építési forgalom (>30 cm)

9. táblázat: A geotextíliák kiválasztása az AS és AB osztályok alapján [22]

Finomszemcsájú talajra fektetett geotextília fölé kerülő talaj jellemzője	Építési forgalomból adódó osztályba sorolás				
	AB1	AB2	AB3	AB4	AB5
AS1	GRK3	–			
AS2		GRK3		GRK4	GRK5
AS3		GRK3	GRK4	GRK5	P
AS4	GRK4		GRK5	P	
AS5	GRK5		P		

P – Próbabeépítés szükséges

Georácsok közül megkülönböztetünk egyirányban, kétirányban (biaxiális) és háromirányban (triaxiális) teherviselőket. Az egy irányban teherviselő rácsok funkciója húzóerő egyirányban való felvétele, illetve a teher közvetítése, ezt a talajtámfalak során alkalmazzák, így az ipari padlók esetében nem használatosak. A bi- és triaxiális georácsok feladata a feszültség szétosztása annak érdekében, hogy az alatta található rétegekre már kisebb feszültségek jussanak. Ezeket a típusokat alkalmazzuk az út- és padlóépítésben, ahol a cél az egyes ágyazati rétegekre vagy az altalajra jutó feszültségek csökkentése az alakváltozások korlátozása érdekében.



16. fénykép: Biaxiális (bal oldali) és triaxiális (jobb oldali) georácsok jellemző képe

A geotextíliák és a georácsok esetében szakítószilárdságot, a szakadónyúlást, a statikus átszakítást, a dinamikus átlukasztást kell vizsgálni, de célszerű megvizsgálni a varratok és kötések szilárdságát, valamint a beépítési károsodást is.

5. Padlószervezetek geotechnikai méretezése

Az ipari padlók méretezése rugalmasan ágyazott lemezként történik. A lemezre jutó erőket a padló megtámasztásként szolgáló ágyazatra és altalajra hárítja. A terhek okozta feszültségek összenyomódást okoznak az ágyazatban és az altalajban, ennek hatására elmozdulások következnek be a lemezben, amik hajlító és nyíró igénybevételeket okoznak. A lemezben létrejövő alakváltozások mértéke az ágyazás merevségétől, azaz az ágyazási tényező értékétől függ. A nagy ágyazási tényezővel, azaz mereven alátámasztott lemezekben kisebb, míg a kisebb ágyazási tényezővel, lágyabban alátámasztott lemezekben nagyobb elmozdulások következnek be. Az ágyazási tényező értéke az ágyazatra háruló feszültségek és az azok hatására bekövetkező süllyedések hányadosából számítható. Ez bár egyszerűnek tűnő számítás, azonban a feszültségterjedés és a többlet feszültségek mélységbeli lehatárolása a lemez szerkezetekre analitikus módon nem egyértelműen kidolgozott. Több elmélet is létezik, de mindegyik elmélet mechanikai modelljében vannak egyes peremfeltételek, ami miatt nem ad általános használatra lehetőséget. Ebből fakadóan célszerű több elméletet számba venni a tervezés során és a peremfeltételek vizsgálata mentén a legjobban illeszkedőkkel számításokat végezni és azok eredményeit figyelembe véve meghatározni az ágyazási tényező értékét.

Az ágyazási tényezőt C -vel vagy k -val jelöljük, és értéke a padló alatti altalajból és ágyazatból álló rendszer merevségét adja meg. Mechanikai tartalma szerint azt mutatja meg, hogy egységnyi süllyedés mekkora terhelés hatására következik be, ezért mértékegysége kPa/m , azaz kN/m^3 definiált. Az ágyazási együttható értéke tehát függ az altalaj és az ágyazat anyagától, tömörségétől, állapotától, valamint a teher intenzitásától és terhelés alaprajzi felületétől. Az ágyazási tényező ilyen módon számításokkal meghatározható a terhelés és a számított süllyedés hányadosából.

5.1. Az ágyazási tényező meghatározása

Az ágyazási tényező meghatározásakor tehát a terhelés intenzitása és felülete, valamint tartóssága, illetve az abból kialakuló süllyedés meghatározása szükséges. Ezek közül a terheléshez kapcsolódó paraméterek megadása egyszerűbb, hiszen a raktározni kívánt anyagok, a polcok elhelyezkedése, a kiszolgálást végző targoncák terhelése és kerékfelülete a raktározás technológiai tervezése során meghatározásra kerül. A különböző terhelésekből adódó süllyedések meghatározása azonban lényegesen nagyobb bizonytalanságot rejt ennél. Ez részben az ágyazati anyagok és az altalajok merevség meghatározásának bizonytalanságából adódik, bár ez a kisebb mértékű bizonytalanság, hiszen nagyobb kihívást jelent a különböző intenzitású és felületű terhek hatására bekövetkező süllyedés pontos kiszámítása. A süllyedésszámítás során a legfontosabb a határmélység meghatározása, tehát azon

zóna mélységének figyelembevétele, amelyben a terhelés okozta többletfeszültségek alakváltozást (süllyedést) okoznak.

A feszültség terjedés és ennek hatására való feszültség leépülés függ a terhelés intenzitásától és terhelés felületétől. A határmélység meghatározására több elmélet is született a múltban, ezek gyakran specifikusak a terhelés felülete alapján, némelyikük számba veszi a szerkezet (pl.: padló) merevségéből adódó elosztó hatást is, így általános alkalmazásuk nem megfelelő. Az alábbiakban azokat az általánosan használt és elfogadott határmélység és ágyazási együttható számítási elméleteket mutatjuk be, amelyeket az analitikus számítások során lehet alkalmazni [25].

5.1.1. Analitikus módszerek

5.1.1.1. A Winkler - féle ágyazási együttható

Napjainkban is talán a legelterjedtebb módszer az *Emil Winkler* (1835 – 1888) német mérnök által kidolgozott ágyazási tényezőn alapuló eljárás módszere [26]. A számítási mód azon a feltételezésen alapul, hogy a lemezalap középsíkjára merőlegesen ható felületi teherrel egy időben a felfekvési felületen, szintén a lemez középsíkjára merőlegesen egy megoszló ágyazati reakció hat. Ez gyakorlatilag az jelenti, hogy a lemezt úgy lehet egyszerűen modellezni, mintha minden pontjában egy-egy elemi rugót helyeznénk el. Ebből látható, hogy ezzel a talaj és a lemezalap kapcsolatának nagyon erős idealizálását hajtottuk végre. Winkler tehát azt mondta, hogy az ágyazási tényező egyenesen arányos a talaj E_s összenyomódási modulusával és fordítottan arányos a terhelt rész szélességével.

Képletben felírva:

$$C = f \cdot \frac{E_s}{b} \quad [\text{N/mm}^3]$$

Ahol:

- E_s az altalaj összenyomódási modulusa $[\text{N/mm}^2]$
- b a terhelt tartomány szélessége (kör esetén a kör sugarát, téglalap esetén a téglalap szélességét értjük rajta) $[\text{mm}]$
- f a terhelt tartomány alakját figyelembevevő szorzó $[-]$
értéke téglalap alaprajz esetén, ahol b a téglalap szélesség, l pedig a hosszúsága:
 - $b/l \ll 1$, azaz sávalap esetén: $f \approx 2,0$
 - $b/l \approx 1$, azaz pontalapok esetén: $f \approx 1,5$
értéke kör alaprajz esetén: $f \approx 4/\pi$

Azonban a rugalmas ágyazás ezen képlete nem minden esetben alkalmas az ágyazási együttható számítására. Abban az esetben tükrözi valóságosan a talaj rugalmas

összenyomódásának hatását, ha a talajon felfekvő szerkezet felületén egyenletes a talajreakció eloszlása. Így tehát nagy alapterülettel rendelkező, az alaprajzi méreteihez képest kicsi vastagságú és koncentrált erőkkal terhelt lemezek esetében nem ideális számítási eljárás. Ez tehát azt jelenti, hogy ipari padlók tervezése során inkább a kis táblás padlóknál használható, nagy táblás padlók használata során nem ajánlott. Ha mégis ezzel a módszerrel számolunk, akkor irreálisan kicsi ágyazási tényezőhöz jutunk.

5.1.1.2. Westergaard, Weil és Eisenmann – féle összefüggés

A következő összefüggés *H. M. Westergaard, G. Weil és J. Eisenmann* munkássága alapján született [27] [28] [29]. A módszer alapja, hogy a teherbíró altalajon egy megfelelő teherbírású ágyazatot, majd ezen egy betonlemez helyezzünk el. Az eljárás során a lemezen gyorsan változó mozgó terhelések, hosszú távon ható felületi, vagy nagy koncentrált terheket lehet figyelembe venni. Így ezen számítási módszer ipari padlók tervezésénél jól alkalmazható.

Abból a feltételezésből indul ki, hogy a betonpadlók alatt elhelyezett ágyazat rugalmas, hiszen azonos terhelés mellett annál nagyobb igénybevétel keletkezik a lemezekben, minél rugalmasabb az alsó tartószerkezet. Az ágyazási együttható értékét a lemez alatt levő nyomófeszültségből és a keletkező süllyedésből kapjuk meg. Az ágyazási tényező figyelembe veszi a padló merevségét is, annak rugalmassági modulusával és vastagságával, amely mellett az ágyazat merevsége is szerepel az összefüggésben:

$$k_s = \frac{E_T}{0,83 \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{com}}{E_T}}} \quad [\text{N/mm}^3]$$

Ahol:

- k_s ágyazási tényező $[\text{N/mm}^3]$
- E_T az ágyazati réteg alakváltozási modulusa $[\text{N/mm}^2]$
- E_{com} a beton alakváltozási modulusa $[\text{N/mm}^2]$
- h a betonlemez vastagsága $[\text{mm}]$

Az összefüggés használata során az altalaj és az ágyazat merevsége egy számmal az E_T értékkel jellemezhető. Amennyiben ezt a helyszíni minősítések során alkalmazott tárcsás teherbírásmérésből számítják, úgy ez a tervezés során egyértelműen számba vehető, azonban ezzel azt is feltételezzük, hogy a feszültségek nem hatolnak sokkal mélyebbre, mint az ágyazat alsó síkja, hiszen a mélyebb rétegekben kialakuló süllyedések így nem vehetők számításba. Emiatt nagy terhelésű (pl.: ~150 kN-nál nagyobb polclábterhek) vagy nagy felületű (pl.: papír és acél tekercsek, palettás áruk, ömlesztett áruk) terhelések esetében túlzottan magas ágyazási együttható értéket ad. Ezen elmélet alá sorolható be a hazai ipari padlóknál alkalmazott gyakorlat, amely Lohmeyer-Ebeling Ipari betonpadlók építése [30] című könyvében találhatóakat

alkalmazza. A könyvben az ipari padlók koncentrált terhei - amik polcláb terhet jelentenek- alapján ad javaslatot az altalajon és az ágyazat tetején szükséges teherbírásra (10. táblázat). Ezek az ágyazat tetején megkívánt teherbírások a Westergaard-féle összefüggésben található E_T modulusnak felelnek meg. Fontos megjegyezni, hogy a táblázatban nem csak az ágyazat tetejére, hanem az ágyazat alatti altalajra is előír teherbírási értékeket. Az altalajra előírt értékek pedig legfeljebb a legkisebb koncentrált teher ($\leq 32,5\text{kN}$) esetén biztosíthatóak a hazánkban előforduló felszíni talajokkal (lásd 10. táblázat), míg a nagyobb terhek esetén már az altalajon elérni kívánt teherbírás is csak talajcserével, tehát szemcsés anyagok vagy talajstabilizáció beépítésével érhetőek el. Ha kiindulásként gondolunk arra, hogy a statikus tárcsás teherbírásmérés behatási mélysége $\sim 60\text{cm}$, akkor a 10. táblázat értékei és a földművek teherbírásméretezése alapján belátható, hogy a például $\leq 100,0\text{ kN}$ koncentrált erő esetén, lösz talajok esetében c.ca. 30-40cm vastag szemcsés anyagú réteg beépítése szükséges az altalajon elérni kívánt $E_2=60\text{ MPa}$ teherbírás eléréséhez. Erre a szemcsés rétegre kell pedig további 40-60cm vastag zúzottkő ágyazatot építeni az ágyazat tetején elérni kívánt $E_2=120\text{ MPa}$ érdekében. Tehát végeredményben 70-90 cm vastag ágyazat építése szükséges. Ezen gondolatmenet tehát visszatükrözi, hogy a nagyobb terhek alatt mélyebb feszültségbehatások vannak és ha a feszültségeket nem kívánjuk a kompresszibilisebb talajrétegekbe bevezetni, úgy az ágyazat vastagítása szükséges. Ilyen módon pedig már jogos lehet valóban az ágyazat merevségével számolni, mivel a peremfeltételekkel már megteremtésre került, hogy a talaj rugalmassági modulusát ne kelljen a számítás során számba venni.

10. táblázat: Betonpadlók alatti altalaj és ágyazat szükséges alakváltozási modulusa [30]

Terhelés (max. koncentrált teher) $Q [\text{kN}]$	E_2 alakváltozási modulus $[\text{MN}/\text{m}^2]$	
	Altalajon	Ágyazaton
$\leq 32,5$	$\geq 30,0$	$\geq 80,0$
$\leq 60,0$	$\geq 45,0$	$\geq 100,0$
$\leq 100,0$	$\geq 60,0$	$\geq 120,0$
$\leq 150,0$	$\geq 80,0$	$\geq 150,0$

5.1.1.3. A Boussinesq – féle ágyazási együttható

A Winkler – féle ágyazási móddal ellentétben realisabb eredményre vezet a Joseph *Valentin Boussinesq* (1842 – 1929) francia matematikus és fizikus által a rugalmas féltér alakváltozását is figyelembe vevő eljárás [25].

A módszer alkalmazásával olyan összefüggéshez jutunk, amely segítségével kör alakú lemezre megoldást kaphatunk. Boussinesq a következőképpen határozta meg az ágyazási együttható számítását:

$$C = \frac{2E}{(1-\nu^2)a\pi} \quad [\text{N mm}^3]$$

Ahol:

- E a talaj rugalmassági modulusa $[\text{N/mm}^2]$
- ν a talaj Poisson – tényezője $[-]$
- a a nyomószerszám sugara $[\text{mm}]$

A Boussinesq által kidolgozott eljárás még pontosabb eredményt ad, ha a ténylegesen fellépő talaj-összenyomódást vesszük figyelembe a koncentrált teher környezetében. Ennek megfelelően bevezethető egy l_0 karakterisztikus hosszúság, melyet a hajlítási merevség és az ágyazási együttható arányaként lehet definiálni a következőképpen:

$$l_0 = \sqrt[4]{\frac{K}{C}}$$

Ahol:

- C ágyazási tényező $[\text{N/mm}^3]$
- K hajlítási merevség $[\text{Nmm}]$

$$K = \frac{E_s \cdot h^3}{12 \cdot (1-\nu_c^2)} \quad [\text{Nmm}]$$

Ahol:

- E_s a betonlemez rugalmassági modulusa $[\text{N/mm}^2]$
- h a betonlemez vastagsága $[\text{mm}]$
- ν_c a betonlemez Poisson-tényezője $[-]$

A Boussinesq által megadott összefüggésbe behelyettesítve, egyszerűsítve és kifejezve az ágyazási együtthatót

$$C = \frac{4 \cdot E_s}{\pi \cdot h} \sqrt[3]{\frac{E_s}{E_c}} \quad [\text{N/mm}^3]$$

képlet kapható.

A képletből következik, hogy az ágyazási tényező annál kisebb, minél nagyobb a terhelő felület nagysága, hiszen a határmélység növekedése a vastagabb talajzóna terhelésbe való bevonását eredményezi. A módszer korlátja, hogy kör alakú terhelésre, lemezre használható az összefüggés, így az általában négyszögalakú építmények esetében egyszerűsítések és átszámítások szükségesek, amelyek számítási pontatlanságot okoznak.

5.1.1.4. Schleicher eljárás

A Schleicher-féle eljárás (1926) szintén a rugalmas féltér alakváltozásain alapul. Ezen számítási módszer alapjául Boussinesq munkássága szolgált, amely már nem csak kör alaprajzú, hanem négyzetes alakú terhelésre készültek [25].

$$s = B \cdot \frac{1 - \nu_c^2}{E_s} \cdot \Omega \cdot \sigma \quad [\text{mm}]$$

Ahol:

- s süllyedés [mm]
- B alaptest szélessége [m]
- ν_c a talaj Poisson-tényezője [-]
- E_s a talaj rugalmassági modulusa [N/mm²]
- Ω L/B aránytól függő szorzó, süllyedési szorzó [-]
- σ a külső, egyenletesen megoszló teher [N/mm²]

Az Ω szorzó az alaptest méreteinek arányát veszi figyelembe, meghatározásához a következő táblázat nyújt segítséget:

11. táblázat: Ω szorzó meghatározását szolgáló táblázat

L/B	1	2	3	5	10	100	10 000
Ω	0,95	1,30	1,52	1,83	2,25	3,70	6,60

Az ilyen módon meghatározott süllyedésből az ágyazási együttható értéke:

$$C = \frac{E_s}{B \cdot (1 - \nu_c^2) \cdot \Omega}$$

A két eljárás közötti alapvető különbség, hogy Boussinesq a terhelt tartomány területét, míg Schleicher a terhelt tartomány hosszméreteinek arányára meghatározott szorzókat használja.

5.2. Végeselemes módszerekkel való tervezés és mintaszámítások eredményeinek bemutatása

A helyes tervezéshez és a hosszan tartó, jó minőségű élettartamhoz elengedhetetlen, hogy már a tervezést megelőző szakaszban a beruházó, vagy sok esetben a beruházó lebonyolítója ismerje a kivitelezni kívánt ipari padlószerkezet terhelését. Fontos, hogy a terhelés fajtája (statikus vagy dinamikus, pontszerű, teljes felületen megoszló, sakktábla szerű, hőmérsékleti stb.) ismert legyen mind a tartószerkezeti, mind pedig a geotechnikus tervezőknek, így biztosítva megfelelő adatokat a tervezéshez.

Ez ugyan már a beruházás elején pontos részletes tervezést és managementet kíván, azonban az itt meghatározott „kényszerek” nagymértékben segítik a megfelelő

tervezést, így az üzemeltetési időszakban a javítási költségek alacsony szinten tartását. A terhelések ismeretében az ipari padló tervezésénél az optimalizálásra is nagyobb lehetősége van a tervező kollégáknak, amivel nem csupán pénzügyi megtakarítást eredményezhetnek a beruházónak, de akár a kivitelezés időbeli lefolyását is csökkenthetik.

Az előző fejezet rávilágított, hogy bár az analitikus összefüggések használata gyors és egyszerű számításokat eredményez, használatukból mégis sok bizonytalanság adódik. Az elmúlt évtizedekben robbanásszerűen nőtt a számítógépek kapacitása és velük együtt a végeselemes szoftverek használata is. Ez elmúlt évtized további nagy eredményének mondható, hogy már nem csak 2D, hanem 3D végeselemes szoftverek is rutinszerűen kerülnek alkalmazásra a mélyépítés tervezésben.

A végeselemes szoftverek lehetőséget nyújtanak gyakorlatilag bármilyen geometriájú lemez és azon működő teher modellezésére. Ezzel sok analitikus számítás geometriai peremfeltételre vonatkozó kötöttsége feloldható és a számítások a kívánt feladatra elvégezhetőek. További fontos pillére a végeselemes számítások realisztikus süllyedésérték számításának a fejlett talajmodellek megjelenése.

A következő fejezetekben ismertetésre kerülnek az ipari padló tervezéshez használható fontosabb geotechnikai szoftverek, valamint ezek alkalmazása. Bemutatásra kerül öt tehereset, mely azt a célt szolgálja, hogy demonstrálja milyen fontos szerepet tölt be a terhelés nagysága és annak eloszlása egy ipari padló esetén.

A fentiekén túl a leírtak foglalkoznak a manapság egyre jobban elterjedő magasraktárakkal is, ahol nem ritka a 35-40m magas polcok telepítése, ahol igen szigorú süllyedés kritériumokat kell a technológia megfelelő működéséhez biztosítani. A következőkben leírtak azt kívánják bemutatni, hogy milyen komplex kihívás egy ipari padló tervezése geotechnikai szempontból is, ahol az ipari padló műszakilag és gazdaságilag is optimális megtervezése függ az altalaj és az ágyazat teherbírásától, a terhelés típusától és nagyságától. A padlók ágyazási tényezőinél figyelembe vehető ágyazási tényező értékének vizsgálatára irányuló számítások 3D végeselemes szoftverrel készültek.

5.2.1. A Végeselemes szoftver

A számítások a világ vezető geotechnikai végeselemes szoftverével a Plaxis 3D-vel készültek. Ezzel a szoftverrel lehetőség van speciális geotechnikai szerkezetek modellezésére, valamint e szerkezet talajjal való kölcsönhatásának vizsgálatára. A szoftverben több különböző talajmodell használatára van lehetőség, mely megengedi, hogy speciális talajtípusokat viselkedését az adott modellel írjuk le.

A következő fejezetben a teljesség igénye nélkül ismertetésre kerülnek a leggyakrabban alkalmazott talajmodellek, illetve azok előnyei és hátrányai.

5.2.2. Talajmodellek

5.2.2.1. Lineárisan rugalmas, tökéletesen képlékeny talajmodell (Mohr-Coulomb modell)

A Mohr-Coulomb modell egy egyszerűsített talajmodell, ami egyszerűsége miatt az első volt a végeselemes geotechnikai szoftverekbe. A lineárisan rugalmas viselkedése a talajmodellnek a Hooke törvényen alapul, míg a tökéletesen képlékeny viselkedést a Mohr-Coulomb törési kritérium írja le. A folyási felület a Mohr-Coulomb modell esetében rögzített, azaz a folyási felület a talajparaméterekkel van definiálva, és nincs rá hatással a képlékeny alakváltozás. A modell leírásához a következő talajfizikai paraméterek meghatározása szükséges:

- Térfogatsúly, γ [kN/m³]
- Belső súrlódási szög, ϕ [°]
- Kohézió, c [kPa]
- Poisson tényező, ν [-]

E paraméterek meghatározása után, a szoftver a fent említett két fő egyenletet alkalmazza a számítások során.

A talajmodell alkalmazása egyszerűsége miatt a végeselemes számítások korai időszakában gyakori volt, manapság olyan feladatok modellezésénél célszerű használni, ahol a törési feltétel vizsgálata a cél, nem pedig az alakváltozások mértéke mérvadó. Előnye, hogy egyszerű talajfizikai jellemzők szolgálnak bemenő paraméterként, így rutin laboratóriumi vizsgálatokkal vagy egyszerűbb talajmechanikai vizsgálatokkal is jól paraméterezhető.

Fontos megjegyezni, hogy a talaj csak igen kis terheléseknél és/vagy alakváltozásoknál viselkedik lineárisan rugalmasan. A talajok terhelés hatására sokkal inkább nem-lineáris viselkedést mutatnak. A valóságban a talaj rugalmassági modulusa függ a feszültség szintjétől, a terhelés hatására fellépő feszültség irányától, valamint az alakváltozás szintjétől, ennek realisztikusabb modellezése érdekében fejlesztették ki Hardening Soil, majd a Hardening Soil Small talajmodelleket.

5.2.2.2. Felkeményedő talajmodell (Hardening Soil modell)

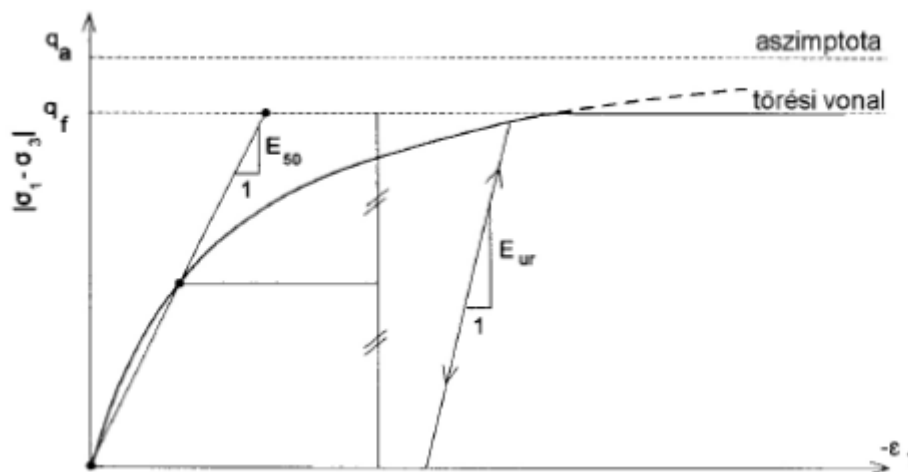
A Mohr-Coulomb modellel ellentétben, a felkeményedő talajmodellben a folyási felület nem rögzített, a képlékeny alakváltozás hatására a felület tágulhat. A modell használatakor különbséget lehet tenni két felkeményedés között; a nyírási és a nyomási felkeményedés között. A felkeményedő talajmodell esetében egy időben alakulnak ki rugalmas és képlékeny alakváltozások. A modell figyelembe veszi a kialakult feszültségek talajmerevségre gyakorolt hatását is. Mivel a modell a talaj felkeményedését veszi alapul és nemlineáris viselkedést feltételez, ezért a terhelés és

tehermentesítés diagram jelentős szerepet tölt be a talajparaméterek meghatározásakor. A modell leírásához a következő talajparaméterek meghatározása szükséges:

- Térfogatsúly, γ [kN/m³]
- Belső súrlódási szög, ϕ [°]
- Kohézió, c [kPa]
- Poisson tényező, ν [-]

mely paraméterek a Mohr-Coulomb talajmodellhez is szükségesek. Ezeken felül a következő merevségi paraméterek meghatározására van szükség:

- A húrmodulus értéke, $E_{50,ref}$ [kN/m²]
- Ödometrikus modulus, E_{oed} [kN/m²],
- Tehermentesítési-újratelhelési modulus, $E_{ur,ref}$,
- A feszültség-merevség függvény kitevője, m [-]



19. ábra: Feszültség-alakváltozás diagram [31]

Az $E_{50,ref}$ moduluszt csak jó felszereltségű triaxiális berendezéssel lehet meghatározni, ezért e helyett gyakran a későbbiekben is használt $E_{oed,ref}$ összenyomódási modulussal azonos értékre veszik fel. Az ödometres feszültség és alakváltozási körülmények alapján a modell az

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left(\sigma / p^{ref} \right)^m$$

kapcsolatot feltételezi, ahol $E_{oed,ref}$ a p^{ref} referenciafeszültséghez tartozó modulus, m pedig a modulus növekedését, a talaj felkeményedését kifejező, 0 és 1 közé eső kitevő. Szokás még a tört nevezőjéhez és számlálójához egy $c^*ctg(\nu)$ értéket adni, mellyel úgy kezeljük a kohéziós talajt, mintha minden normálfeszültséget ezzel az értékkel megnövelnénk. A p^{ref} általában 100 kPa-ra választandó, míg az m kitevő homokok esetében 0,5 körül mozog, agyag esetében kb. 1,0, iszap esetében kb. 0,75 szokott lenni.

[32] A talajmodell a Mohr-Columb modellnél alkalmasabb a talajban létrejövő alakváltozások modellezésére, azonban talajtömegben terhelés hatására létrejövő feszültségterjedés hatásmélységeit nem tudja jól visszaadni. Emiatt sajnos nem ideális az ipari padlók alatti süllyedések, azaz az ágyazási tényezők számításához, mivel a várható süllyedések mértékét a mélyebb zónákban túlbecsüli. A talajmodell előnyeként lehet említeni, hogy a Mohr-Coulomb talajmodellhez hasonlóan viszonylag egyszerűen meghatározható talajfizikai jellemzők szolgálnak bemenő paraméterként. A modell továbbfejlesztéseként jött létre a kis alakváltozásokat számításba vevő HSS talajmodell.

5.2.2.3. Felkeményedő - kis alakváltozások modell (Hardening Soil Small modell)

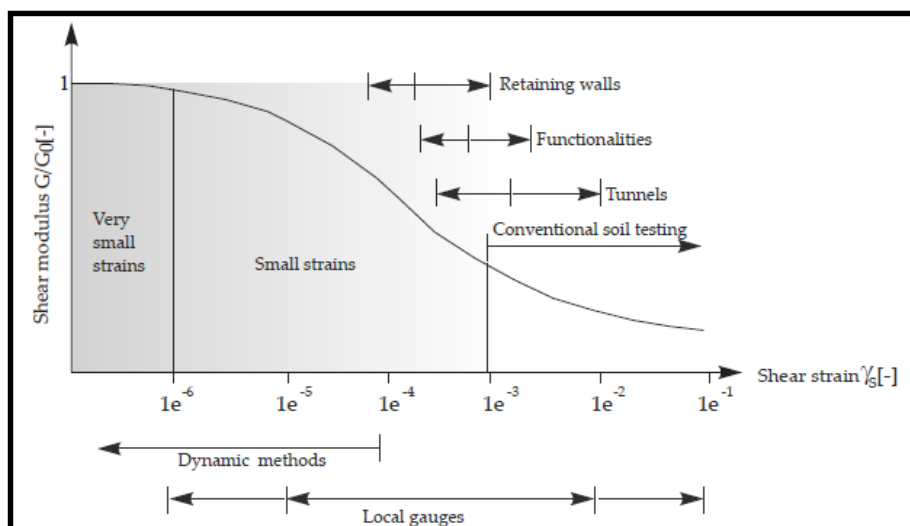
A HS Small talajmodell a HS modellt bővíti ki. Ez a modell képes talajok nagyon kis alakváltozások tartományában tapasztalható nagyobb merevségének figyelembevételére. Az alakváltozási szint növekedésével a merevség fokozatosan lecsökken. A merevség csökkenése a leromlási görbével adható meg. A nem lineáris merevség csökkenést logaritmikus léptékben ábrázoljuk. A leromlási görbét a talajmodell egy hiperbolikus függvénnyel írja le.

A HS talajmodell tehermentesítés-újraterhelés leírásakor (a valósággal ellentétesen) ideálisan rugalmas anyagot feltételez. Ez az állítás csak nagyon kis alakváltozások esetében igaz. A HS Small ezzel ellentétben a tehermentesítés-újraterhelés modellezésekor is az alakváltozások mértékének függvényében veszi fel a merevséget. A merevség az alakváltozások mértékétől függ, csökkenése a leromlási görbével jellemezhető (20. ábra). A merevség csökkenése nem lineáris.

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + 0,385 * \left| \frac{\gamma}{\gamma_{0,7}} \right|}$$

Ahol:

- G : adott alakváltozási szinthez tartozó nyírási modulus
- G_0 : nyírási modulus maximális értéke
- g : nyírási alakváltozás
- $g_{0,7}$: nyírási alakváltozás ott, ahol a nyírási modulus a maximális érték 72,2%-ra csökken



20. ábra: Leromlási görbe [33]

A talajmodell előnye tehát, hogy a feszültségterjedés mélyebb zónáiban a felkeményedés hatására már a valóságnak megfelelően kisebb alakváltozás, süllyedés fog bekövetkezni, emiatt a feszültségek végtelenbe való lehatása és annak hatására kummulálódó alakváltozások nem jönnek létre a modellben. A számítási modell ilyen módon önmagának tudja beállítani a süllyedésszámításhoz szükséges határmélységet, ami kulcsfontosságú a realisztikus süllyedések meghatározásához. Ezáltal kiküszöböli az analitikus számítások peremfeltételeiből adódó korlátokat, ami a terhelt felület alakjára és a teher típusára adott kötöttségeket. Az ipari padlók statikai tervezéséhez szükséges ágyazási tényezők meghatározásához ezért a HSS talajmodellel futtatott végelelemes számítások az ideális modellek. Az eredmények realisztikusságának előnyei mellett természetesen adódnak hátrányai a talajmodellnek, miszerint a bemenő talajparaméterek között szereplő nyírási modulus és annak leromlása csak komplex geotechnikai vagy geofizikai vizsgálatokkal határozható meg pontosan. Szerencsére az elmúlt évtizedekben jelentős számú kutató foglalkozott olyan empirikus összefüggések megalkotásával, amely mára rutin vizsgálatként használt kúpos nyomószondázás (CPT) eredményéből alkalmas a nyírási modulus számításához szükséges nyírási hullámterjedés sebesség előállítására. Ebből fakadóan a HSS talajmodell körültekintő előkészítő munkával, de rutinszerűen használhatóvá vált a mélyépítési feladatok modellezésében.

5.2.3. A mintaszámítások során alkalmazott talajtípusok

A következő fejezetben bemutatott öt tehereset vizsgálata során három különböző merevségű altalaj és ágyazat került figyelembevételre. A talajösszlet hazánkra jellemző iszapos homok, homokos iszap talajként került modellezésre.

Az elnedvesedett, felpuhult talajon előírt E_2 teherbírást 15MPa-ban, a jó állapotú talaj $E_2=30$ MPa, majd a rendkívül kedvező, tömör állapotú talaj $E_2=60$ MPa értékben lett

definiálva (lásd 12. táblázat). A merevségek a rugalmassági modulusok változtatásával kerültek megnövelésre az egyes anyagoknál. Az így kapott különböző merevségekkel 9 darab talaj-ágyazat kombináció került előállításra. A 12. táblázatban a talaj és ágyazat merevségek függvényében meghatározott ágyazat vastagságok láthatóak. Az ágyazat vastagságok zúzottkő anyagú ágyazatot feltételeztek és az 5.1.1.2. fejezetben leírt két rétegű rendszer méretezése alapján kerültek meghatározásra. Az alkalmazott ágyazat vastagságokat a 12. táblázat mutatja be, például a 60MPa teherbírású altalajon, ha 80MPa teherbírású ágyazatot vettünk fel, akkor 14cm vastag ágyazat került modellezésre

12.táblázat: Ágyazat vastagságok [34]

	Ágyazat vastagságok [cm]		
	Talaj teherbírások [Mpa]		
Ágyazat teherbírás [Mpa]	60	30	15
80	14	34	44
110	34	54	64
140	54	74	84

13. táblázat tartalmazza. A kezdeti öt teherestnél az egyes számítási esetekben homogén, egy rétegű altalaj került modellezésre, míg a magasraktárak számításai esetében a homogén egyrétegű altalajviszony mellett két rétegű, kedvező és kedvezőtlen teherbírású réteg jelenléte is vizsgálatra került a süllyedésérzékenység szemléltetése céljából. A modellekben a talajvíz hatása nem került figyelembevételre a változók csökkentése érdekében.

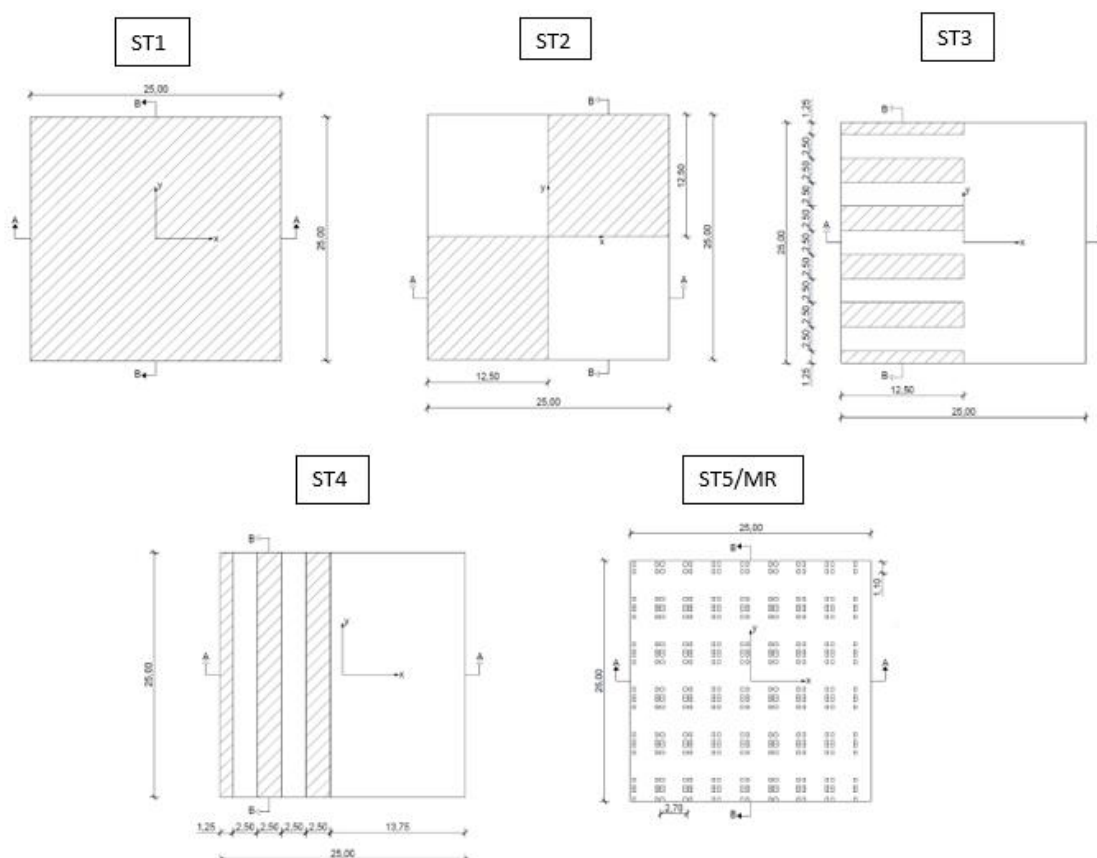
13. táblázat: Alkalmazott talajfizikai jellemzők [34]

	Alkalmazott talajtípusok talajfizikai jellemzői							
	γ [kN/m ³]	γ_t [kN/m ³]	c'_{ref} [kN/m ²]	φ [°]	ψ [°]	E_{50}^{ref} [kN/m ²]	E_{oed}^{ref} [kN/m ²]	E_{ur}^{ref} [kN/m ²]
Ágyazat	19	21	1	37	7	60000	60000	120000
1. típus	19	21	25	27	0	20000	20000	50000
2. típus	19	21	20	23	0	9000	9000	22500
3. típus	19	21	15	18	0	4000	4000	10000

5.2.4. Alkalmazott teheresetek

A számítások során négy féle módon működő megoszló terhelés (ST1, ST2, ST3 és ST4) került feltételezésre, melyeknek nagysága a gyakorlatban sokszor előforduló 50kN/m^2 volt. Ipari padlók esetén, nemcsak felületi terhek lehetnek, hanem jellemzően polcláb terhek működnek, amelyek kis felületen fejtenek ki jelentős terhelést a padlólemezre. Ebből adódóan a modellezésnél egy $32\text{cm} \times 35\text{cm}$ nagyságú felületen működött az 50kN nagyságú erő, tehát az így kapott felületi teher értéke 446kN/m^2 -re adódott. Ez a teherelrendezés ST5 jelölést kapott.

A teheresetek terhelési sémáját mutatja be a 21. ábra.



21. ábra A végeleemes számításoknál alkalmazott teheresémák vázlatrajzai

A süllyedések értékelésénél a lemezen két egymásra merőleges metszet került felvételre (A-A és B-B jelöléssel), olyan pozícióban, hogy a süllyedések trendjei jól értelmezhetőek legyenek. Azoknál a tehereseteknél, ahol a süllyedés alakja szimmetrikus volt, az értékelés a szimmetria miatt csak egy metszeten került bemutatásra.

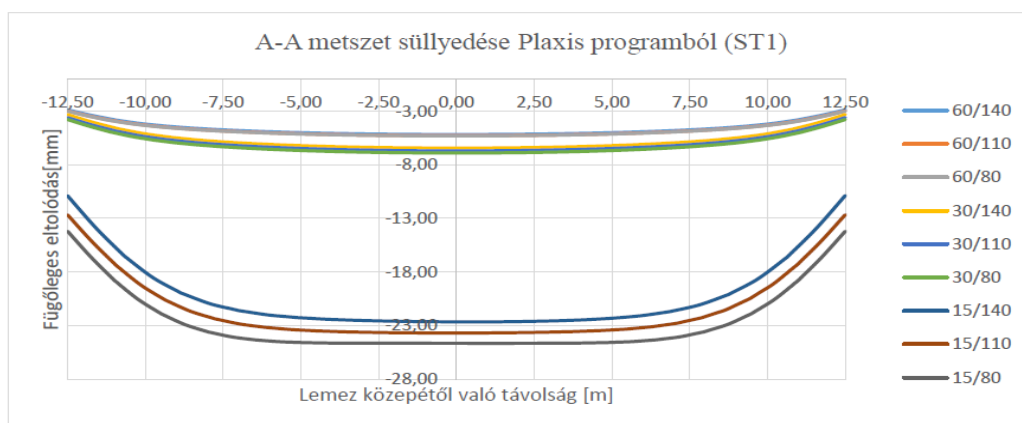
5.2.5. Süllyedések értékelése

5.2.5.1. Teljes felületi teher (ST1)

Teljesen felületen alkalmazott megoszló terhelésnél a deformált alaknak, a szakirodalmak alapján, egy tálra/tálcára kell hasonlítani. Ennél a terhelésnél a viszonylag nagy, de egységes süllyedés miatt az igénybevételek nem számottevőek. Ez a terhelés típus a gyakorlatban az ömlesztett áruk tárolásánál fordul elő leggyakrabban.

A lemez, süllyedési formája egy tálca alakkal jellemezhető, amelyet a 22. ábra szemléltet. Megfigyelhető, hogy a 60MPa, illetve a 30MPa teherbírású talajnál az ágyazatnak nincs jelentős szerepe a süllyedések alakulásában, hiszen a mélyebb talajrétegekbe hatoló feszültségek miatt inkább az altalaj süllyedése lesz a mértékadó. Észrevehető, hogy a süllyedések a lemez szélein közel azonos nagyságúak, a térbeli feszültségterjedés miatt a süllyedés értéke drasztikusan csökken.

A gyenge teherbírású ($E_2=15\text{MPa}$) altalaj esetében jóval nagyobb süllyedések alakultak ki, mint a megfelelő vagy jó teherbíró talajoknál. A gyenge talajnál azonban már látható eltérést eredményezett az ágyazat vastagságának különbsége. Noha az ágyazatnak jelen teheresetnél nem sok szerepe van a süllyedések csökkentésében, az altalajnak annál nagyobb volt a jelentősége. Ha a 140MPa teherbírású ágyazathoz tartozó talajokat vizsgáljuk, azt vesszük észre, hogy míg a 60MPa teherbírású talaj maximális süllyedése 5mm, a 30MPa teherbírásúé közel 7mm, addig a 15MPa teherbírású talajnál már csaknem 23mm. A különbség közel négyszeres. Ez felhívja arra a figyelmet, hogy azoknál a teher típusoknál, ahol a feszültségek mélyre hatolnak az altalajban ott a nagy teherbírású ágyazat sem tudja azt kompenzálni a süllyedésekben. Ezért lényegesen kisebb ágyazási tényezővel szükséges a statikai számításokat elvégezni, mint ami azokból az elméletekből (pl.: Westergaard-Eisemann) származik, ahol azt feltételezik, hogy a feszültségek döntő része az ágyazatban működik és a mélyebb rétegbe már nem nyúlnak le, így az ágyazat rugalmassági modulusát veszik számításba.



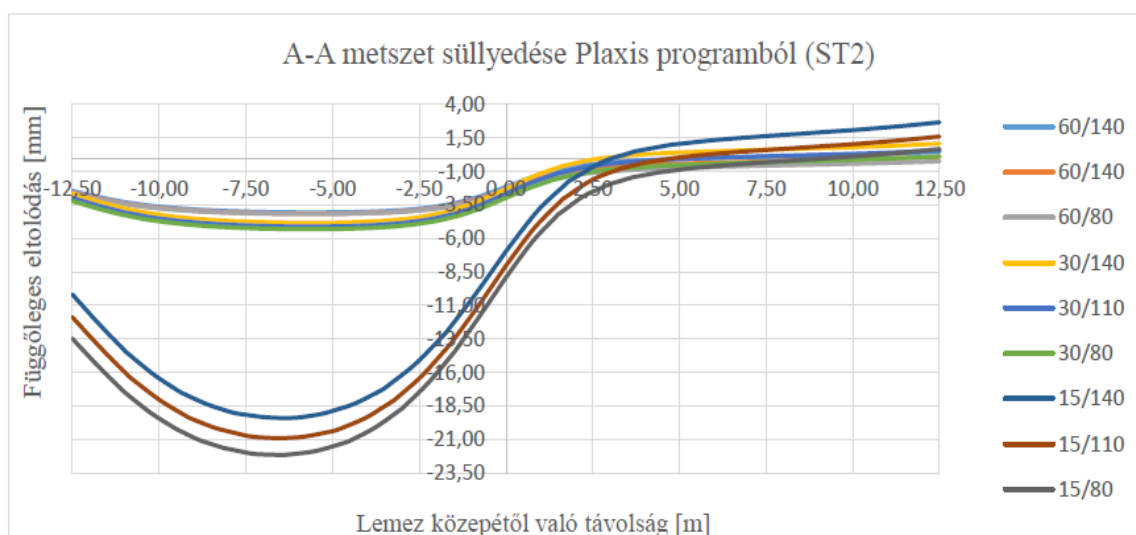
22. ábra: ST1 tehereset süllyedése [34]

5.2.5.2. Sakktábla terhelés (ST2)

Sakktábla-terhelés esetén a lemez négy egyenlő részre került felosztásra, és ebből két egymással átlós elemen működött a teher, ami szintén 50kN/m^2 volt. Ez a fajta tehereset előfordulhat, ha egy raktárat éppen ürítenek, s a tárolandó anyagok sakktábla mintában helyezkednek el.

A süllyedések alakja a terhelt lemezrész alatt közel megegyező az ST1 teherrel terhelt lemezével. A terhelt lemezrész tál alakú alakváltozást szenved, a nem terhelt részen pedig felemelkedések tapasztalhatóak. A 1. és 2. típusú talajoknál az ágyazat vastagságának növelésével a süllyedések mértéke számottevően nem csökkentek, hiszen továbbra is a mélyre hatoló feszültségek miatt az altalajban bekövetkező süllyedések voltak a mértékadóak. A 3. típusú felpuhult talaj esetén is hasonlóak tapasztalhatóak, mint az ST1 jelű terhelési modellnél.

A süllyedési görbe alakja azonban felhívja arra a figyelmet, hogy míg az ST-1 terhelési esetről nem volt számottevő igénybevétel a lemezben, hiszen egységesen süllyedt, addig a sakktáblában terhelt padló esetében már jelentős hajlítói igénybevételek adódnak a terhelt és nem terhelt zónák határánál.



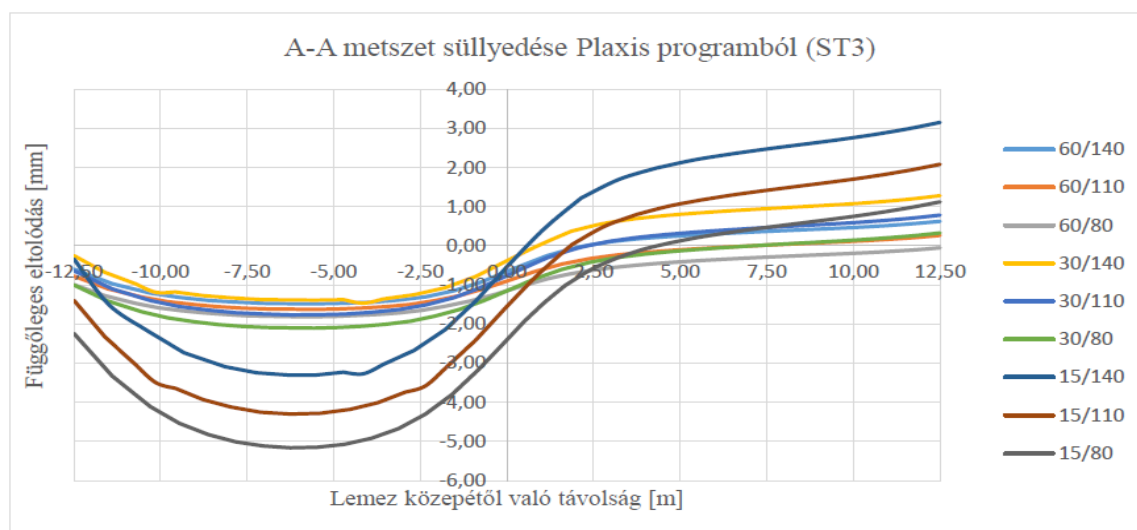
23. ábra: ST2 tehereset süllyedése [34]

5.2.5.3. Vízszintes sávteher (ST3)

Ennél a teheresetről a lemez egyik fele került a padló hossz tengelyével párhuzamosan leterhelésre $2,5$ méter széles sávterhekekkel, amelyek között $2,5$ méter széles targonca utak kerültek leterheletlenül definiálásra. Ez a tehereset általánosnak tekinthető a gyakorlatban.

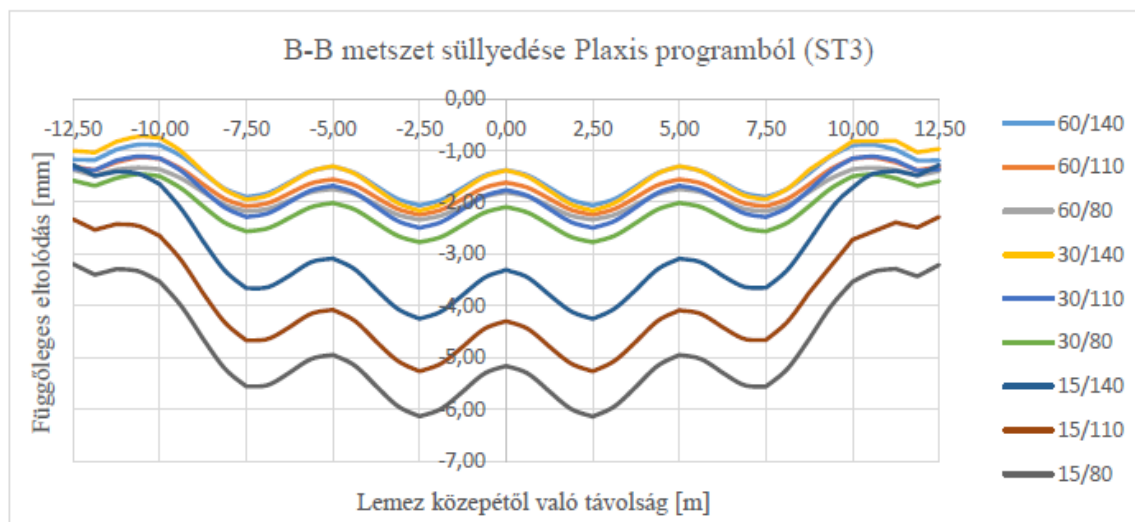
Az A-A metszet, tehát a terhelési sávokkal párhuzamos irányban a süllyedési görbe jellege a sakktábla teherrel terhelt lemez, süllyedési görbéjéhez hasonlított. A lemez terheletlen szélén a korábbiaknak megfelelően felhajlás jelentkezik, míg a terhelt rész alatt tál alakú süllyedésgörbe mutatkozik. A sávterhek keskenyebb kiterjedése miatt a

maximális süllyedés már lényegesen csekélyebb, mint a nagy felületen terhelt ST1 és ST2 tehereseteknél, ami jól visszaadja a szakirodalomban süllyedésről írottakat.



24. ábra: ST3 tehereset süllyedése [34]

Talán izgalmasabb képet mutatott a B-B metszet, ami sávterhekre merőleges irányban mutatja a süllyedéseket. Látható, hogy a sávterhek alatt a süllyedés nagyobb, mint a nem terhelt felületen, de az is jól kirajzolódik, hogy a terhelt zónák a feszültségterjedésből és az ipari padló merevségéből adódóan kissé magukkal húzzák a terheletlen sávokat is. A sávterhek kisebb mélységbeli lehatolása miatt a süllyedések abszolútértéke jelentősen csökkent és előtérbe helyeződik az ágyazat merevség (vastagság) jelentősége.



25. ábra: ST3 tehereset süllyedése [34]

5.2.5.4. Függőleges sávterhelés (ST4)

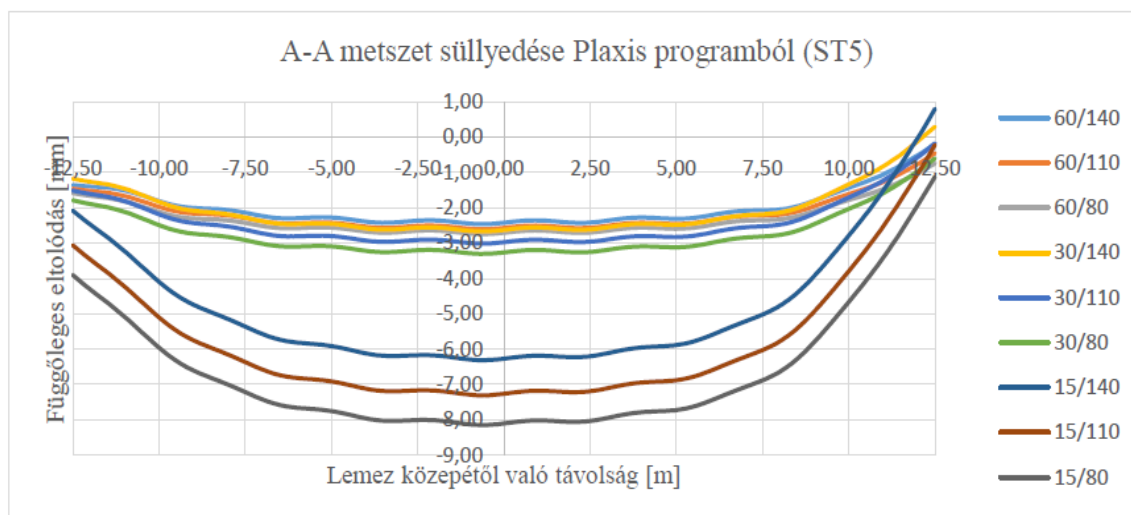
Az ST4 jelű teheresetnél szintén a padló felületének fele került leterhelésre, ám a terhelt sávok itt merőlegesek az ST3 jelű teheresetnél lévő terhelt sávokra, tehát a padló rövidebb tengelyével párhuzamosak. A süllyedési trendek a ST3 terheléshez való

hasonlóság miatt az ST3 szerinti egyezőséget mutatott, így külön nem kerül bemutatásra.

5.2.5.5. Totál polcterhelés (ST5)

A totál polcteher esetében a padló teljes területén 2,5m-es sávokban polclábak hatottak 50kN nagyságú erővel a 32cm*35cm-es polclábtalp felületeken, a terhelt sávok között pedig 2,5m-es targonca közlekedésre szolgáló, terheletlen sávok kerültek kialakításra. Ez a tehereset tulajdonképpen a polcos tárolású csarnok áruval teljesen feltöltött állapotát modellezi. Fontos megjegyezni, hogy ennél a teheresetnél is, csakúgy, mint a többinél a terhelések és ilyen módon a süllyedések időbelisége nem került számbavételre, tehát a számított süllyedések a teljes várható konszolidációs süllyedések a talajban.

A süllyedések alakulása a két metszeten eltérő. A polcok hossztengevényében felvett A-A metszeten kialakuló süllyedés (26. ábra) az ST1 totálterhelés süllyedési görbéjére hasonlít. Noha kissé láthatóvá válnak a polclábak helyei, globálisan nézve a süllyedési görbét a formája szintén tál alakúnak mutatkozik. Ebből az a következtetés is levonható, hogy annak ellenére, hogy az egyedül álló, kis felületű polclábak terhei nem hatolnának le mélyebbre, mint az ágyazat vagy az alatti közvetlen közeli talajzóna, a sok terhelt polcláb együtt sávterhet alkotva úgy fog viselkedni, mintha megoszló terhelés működne a padlón.

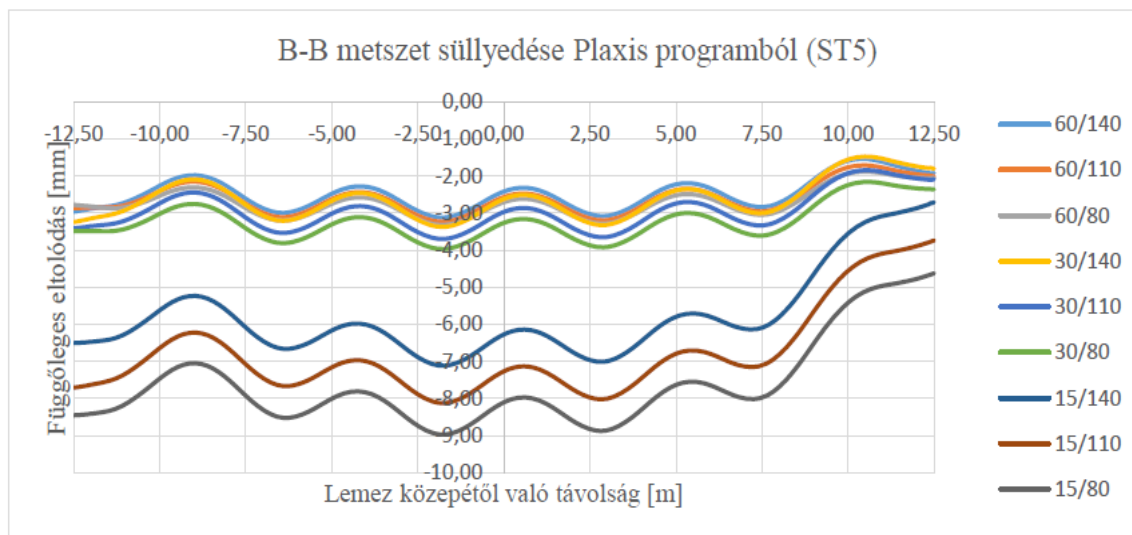


26. ábra: ST5 tehereset süllyedése [34]

A B-B metszet, azaz a polcsorokra merőleges metszet süllyedési görbéjén már látható, hogy az egyes polclábak alatt a süllyedések nagyobbak, mint a terheletlen részekben. Azonban az ábra értékei alapján ebben az irányban sincsen jelentős elérés attól, ha a tereket sávszerűen alkalmazták vagy működtették volna.

Néhány részletesebb elemzés az ábrák alapján az alábbiakban foglalható össze. Az ábra jobb szélén látható kisebb süllyedés oka, hogy azon az oldalon csak egy sor polc került

definiálásra, míg a többi helyen két sor. Látható, hogy az ágyazatnak szerepe van a süllyedések alakulásában, de igazán nagy süllyedéskülönbség a talaj teherbírásának a csökkenéséből keletkezik. Az egyes görbéken belül a minimális, illetve a maximális süllyedések közti különbségek közel 1mm nagyságúak. Az összes görbét nézve a minimális, illetve a maximális süllyedések között 6mm eltérés is adódik. Noha a 60MPa, illetve a 30MPa teherbírású talajnál az ágyazat vastagságának a növelésével a süllyedések csak csekély mértékben csökkennek, addig a 15MPa teherbírású talajnál, már akár 2mm süllyedés csökkenés is elérhető, ha növeljük az ágyazat vastagságát.

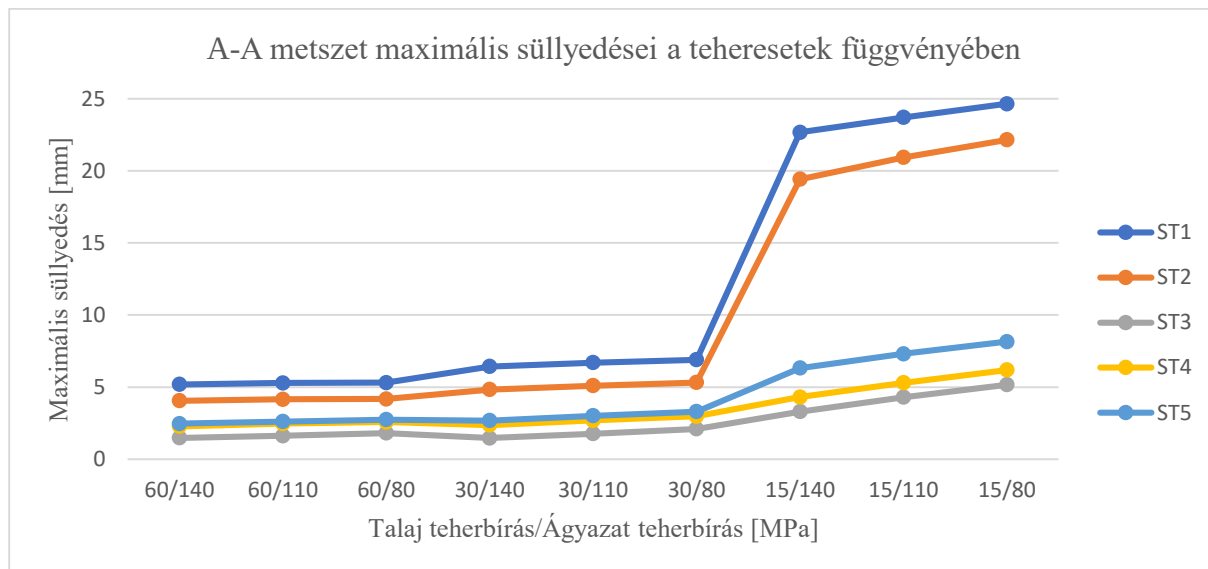


27. ábra: ST5 tehereset süllyedése [34]

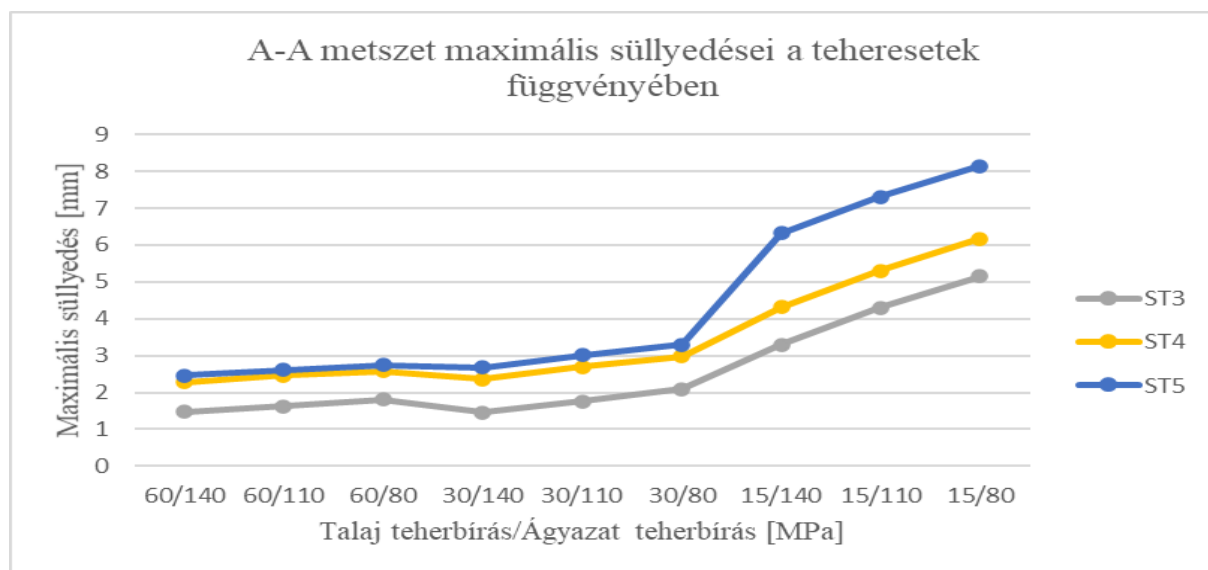
5.2.5.6. Maximális süllyedések összehasonlítása

A végeelemes számításokból kapott süllyedések maximális értékei alapján elmondható, hogy mind az A-A metszet, mind pedig a B-B metszet süllyedéseinél, a legnagyobb értékek az ST1-es jelű teheresetből, azaz a teljes felületen működtetett megoszló terhelésből keletkeztek. A maximális süllyedéseknél, függetlenül a vizsgált metszettől az tapasztalható, hogy a talaj teherbírásának a csökkenésével, illetve az ágyazat vastagságának a csökkentésével a süllyedések nőnek, azonban az ágyazatnak nincsen kiemelt szerepe a süllyedések csökkentésében. A sávosan vagy zónásan terhelt esetekről elmondható, hogy az A-A illetve a B-B metszet süllyedései, azaz a terheléssel párhuzamos vagy arra merőleges irányokban a süllyedések eltérnek egymástól, aminek oka a terhek alaprajzi elhelyezkedése miatti feszültségterjedésre vezethető vissza. Ez tehát felhívja a figyelmet arra, hogy a terhelt zónák térbeli kiterjedésének nagyon jelentős hatása van a feszültségterjedésre, tehát a feszültségek általajba való behatolására, ilyen módon pedig a várható süllyedések mértékére. A süllyedések mértéke pedig egyenesen arányos az ágyazási együttható értékével, ami a statikai számítások bemenő paramétereként az ipari padló igénybevételeit, ilyen módon annak vastagságát, vasalását vagy száladagolását befolyásolja.

A 28. ábra az egyes teheresetek A-A metszetben, tehát a süllyedések szempontjából mértékadó irányba számított süllyedés értékeket mutatja be az altaljaviszonyok és az ágyazatok merevségének függvényében. A 29. ábra tulajdonképpen a 28. ábra egy kinagyított ábrája, ahol a terhek között nem szerepelnek az igazán nagy alakváltozásokat létrehozó felületi megoszló terhek.



28. ábra: Maximális süllyedések [34]



29. ábra: Maximális süllyedések [34]

A fenti ábrákból egyértelműen kivehető, hogy az altalaj és az ágyazat merevségének a csökkenésével a maximális süllyedések nőnek, továbbá, hogy egy bizonyos értékű altalaj merevség alatt, már az ágyazat vastagságának növelésével sem tudjuk kellőképpen feljavítani a padló alatti rendszert. Tehát az ágyazat csak bizonyos mértékig tudja segíteni az alacsony merevségű altalajt, ezért ilyen esetben a terheléstől

függően vastagabb talajcserét vagy mélyebb talajjavítási módszereket szükséges használni a padlók megfelelő alátámasztása érdekében.

A bemutatott számítások homogén altalajjal készültek, a rétegzett talajok esetében külön foglalkozni kell a rétegzettség okozta a süllyedéskülönbségek mértékével is.

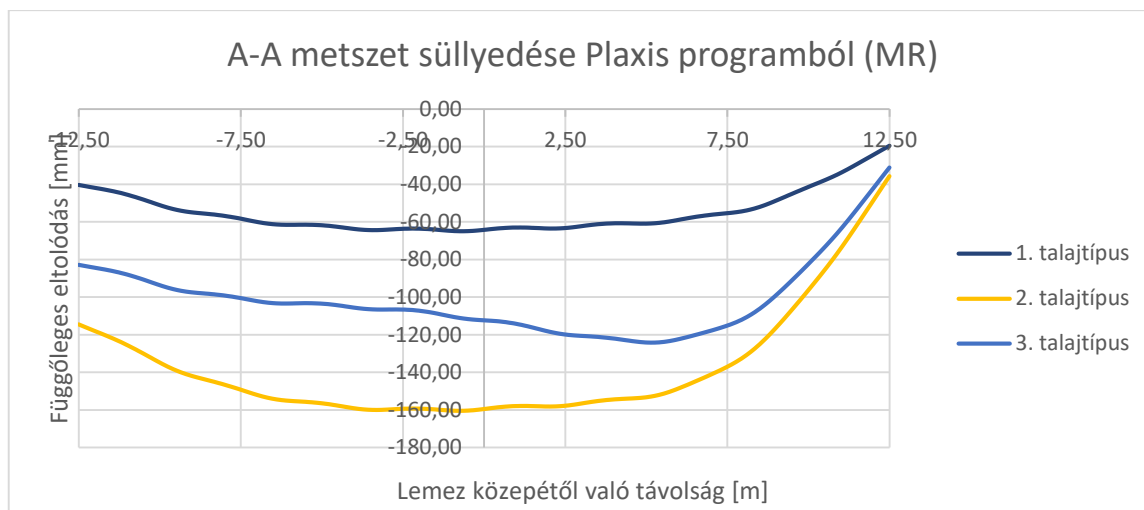
5.2.6. Magasraktárak számítása végeselemes módszerrel

A magasraktárak süllyedésérzékenységének bemutatása céljából szintén készültek végeselemes számítások. Ezen számítások csak egy teheresetet vizsgáltak, ami kialakításában megegyezik az ST5 típusú teheresettel, annyi különbséggel, hogy a polclábakról leadódó erőket a magasraktárnál járatos 200kN-ra vettük fel, ami teher 4-szerese a korábban bemutatott normál raktározási rendszerénél.

A számítások során három különböző altalajviszony került modellezésre, ezekből egyik az elnedvesedett kedvezőtlen 3. jelű altalaj, míg a másik a legkedvezőbb 1. jelű altalaj volt. A harmadik eset egy kombinált talajkörnyezet volt, amikor az alsó, kedvezőtlen talajrétegre egy néhány méter, de hossz tengely (A-A metszet) mentén kivastagodó jó állapotú talaj települt, majd az ágyazat erre az 1. jelű altalajrétegre épült meg. A talajviz a számítások során a korábbiakhoz hasonlóan elhanyagolásra került.

A 26-27. ábrák diagramjai bemutatják, hogy az egyes altalaj variációk esetében, hogyan változnak a maximális süllyedések. A számítások során a fenti fejezetben említett szélterhelés nem került figyelembevételre, csak a polclábakról leadódó függőleges terhelések. A további anyagmozgató gépek, valamint targoncák statikus és dinamikus terheit, amik a polclábterhekhez képest padlósüllyedés szempontjából nem számottevőek szintén elhanyagolásra kerültek.

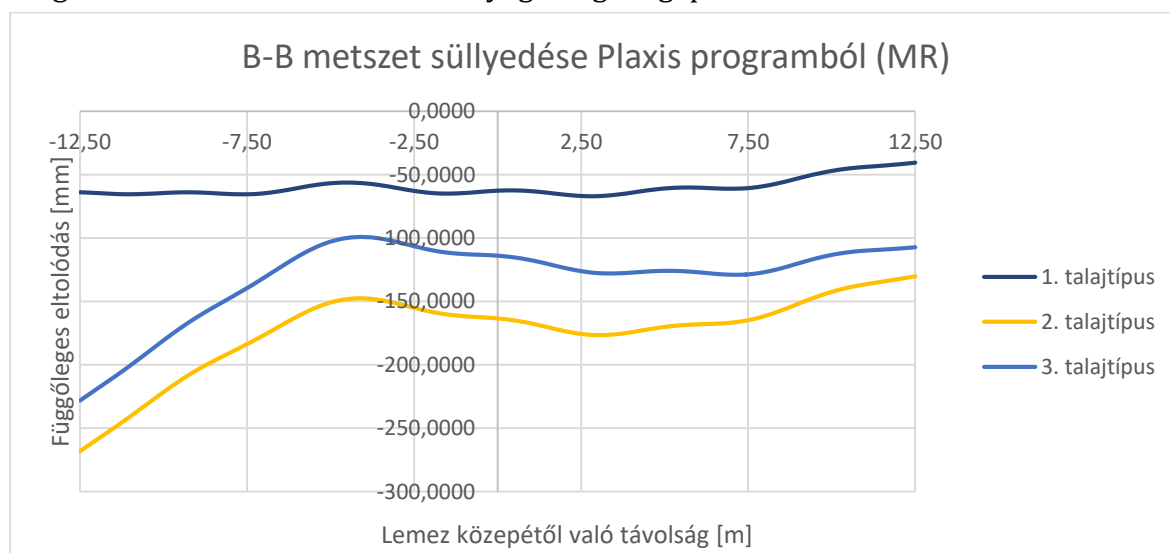
A 30. ábra mutatja, hogy a polclábak külön-külön nem rajzolódnak ki a süllyedés ábra mentén, mivel azok a padló teljes süllyedését okozzák. Természetesen a polcok nem teljes mértékű feltöltése esetén az egymástól nagy távolságra lévő polcok lábai külön-külön süllyednének, ami jelentős lemez igénybevételeket okozna. A süllyedések várható értéke 6-16cm, ami a terhek több méterre való lehatolása miatt bekövetkező altalaj összenyomódásokból származik. A lemez bal oldalán a függőleges elmozdulások kisebbek, mint a jobb oldalon, melynek oka, hogy a jobb oldalon a lemez jobban terhelt, ott a polclábak sűrűbben helyezkednek el. Minden esetben az ipari padló és a beépített raktározás technológia számára is elfogadhatatlanul nagy süllyedések alakulnak ki.



30. ábra: Magasraktár süllyedése

Látható, hogy mind az A-A és mind a B-B metszet esetében nem teljesülnek azok a szigorú süllyedési kritériumok, melyek az előző fejezetben kerültek bemutatásra. A B-B metszeten szintén megfigyelhető az a jelenség, hogy a lemez egyik szélénél jóval nagyobb elmozdulások keletkeztek, mint a másik szélén. Ennek az oka szintén az, hogy a lemez egyik széle a polcláb kiosztás miatt nagyobb mértékben terhelődik, mint a másik széle.

Látható, hogy csak a jobb oldalon, akár 100mm-es süllyedéskülönbség is keletkezhet a padlólemezben, mely igencsak károsíthatja magát a polcrendszer, és akár műszaki meghibásodáshoz is vezethet az anyagmozgató gépek rendszerében.



31. ábra: Magasraktár süllyedése

Ahhoz, hogy ezek a nagymértékű süllyedéskülönbségek ne jöhessenek létre, olyan megoldást kell alkalmazni, amely kellőképpen feljávítja az altalajt nagy mélységben, esetleg kiegészítő merevítő elemeket helyez el a talajban. A talajjavítások módja lehet a dinamikus vagy vibrációs mélytömörítés, esetleg anyagbevitel esetén a

kavicscölöpök vagy kőtömszök létrehozása. Szintén az altalaj merevsége növelhető nagy vastagságban a talaj kötőanyaggal való összekeverése mélykeverési módszerekkel vagy jet-grouting technológiával. Amennyiben a terhek rendkívül magasak úgy szükség szerű lehet merevítőbetétek beépítésére a talajba. Ezt az eljárást rigid inclusion módszernek hívják, aminek során vasalatlan betoncölöpöket készítenek a talajba és ilyen módon próbálják a szerkezet süllyedéseit csökkenteni. A cölöpök ebben az esetben nem kerülnek bekötésre az alaplemezként szolgáló ipari padlóba, hanem egy teherelosztó ágyazat osztja szét a padlóról érkező feszültségeket az altalajra és a cölöpökre. Amennyiben a rigid inclusion technológiával sem biztosíthatóak a süllyedéskritériumok, úgy cölöppel gyámolított alaplemezt kell tervezni, ahol a cölöpök közvetlenül megtámasztják az alaplemezként szolgáló ipari padlót.

6. Ipari padlók statikai méretezési kérdései

Jelen fejezet a rugalmasan ágyazott lemezként készülő ipari betonpadlók erőtani tervezési kérdéseit tárgyalja. A tervezés egy döntéshozatali folyamat, ami magában foglalja a méretezést, a csomóponti kialakítások meghatározását, a rajzos tervek megszerkesztését és az építési előírások összeállítását a lemez kivitelezését megelőzően. Ezeken kívül eső szempontok tárgyalására, mint például anyagok, kivitelezési módszerek, betonozás vagy simítási eljárások, csak ott térünk ki, ahol szükségesek a tervezési döntés meghozatalához.

Jelen fejezet szöveg összefüggéseiben a rugalmasan ágyazott lemezként készülő ipari betonpadló (továbbiakban: ipari padló, ipari betonpadló, vagy padlólemez) definíciója: egy lemez, melyet a talaj támaszt meg és fő célja a ható terhek viselése a talajra terhelve. A lemez vastagsága lehet egyenletes vagy változó és tartalmazhat különféle merevítő elemeket, mint bordák vagy gerendák. A lemez lehet vasalatlan vagy lágy acélbetétekkel vasalt, szálerősítésű vagy utófeszített. A vasalás alkalmazható a zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból adódó repedések megnyílásának korlátozására és a terhek viselésére. Utófeszített vasalást használhatnak a zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból adódó repedések minimalizálására, a terhek viselésére és duzzadó talajok alakváltozásából adódó káros lemez deformációk kiküszöbölésére.

Jelen fejezet azon ipari betonpadlók tervezését fedi le, melyek terhei a lemezen közvetlenül tárolt anyagok súlyából adódnak. A Segédlet tárgyalja a megtámasztó talajrendszereket, a zsugorodási és hőmérsékleti hatásokat, repedéseket, felhajlást és más lemeztervezést befolyásoló tényezőket.

6.1. A rugalmasan ágyazott lemezek tervezésének elméleti háttere

Rugalmasan ágyazott lemezekben ébredő feszültségek a terhelésből és a beton, illetve a talaj összenyomódásából adódnak. A feszültségek nagysága olyan tényezőktől függ, mint a lemez folytatólágosságának mértéke, az altalaj teherbírása és egyenletessége, az építési módszer, a munka minősége, és a terhek nagysága és elhelyezkedése. A legtöbb esetben a fenti tényezők hatását az anyagtulajdonságokat és talajszerkezeti kölcsönhatásokat illető egyszerűsítések bevezetésével vizsgálják. Az előző fejezetben már részletesen ismertetésre kerültek a tervezési módszerek és azok elméleti háttere, így az már külön nem kerül tárgyalásra, de összefoglalólag az alábbiakat említhetők meg.

A végeelem-módszer használható ágyazott lemezek elemzésére, különösen azokéra, melyek folytonossági hiányosságokat tartalmaznak. Az analitikus modellek általában olyan elemek kombinációiból állnak, mint rugalmas testek, merev testek és csavart

rudak. Az ágyazatot többnyire csomópontokban elhelyezett lineáris rugókkal modellezzik (Winkler ágyazat). [26] A végeelem-módszer jó lehetőséget ad komplex problémák megoldására, szemben a hagyományosan grafikus megoldásokat és leegyszerűsített egyenleteket használó tervezéssel. A modern számítógépes szoftverek fejlődése a végeelemes modellezést irodai környezetben sokkal megvalósíthatóbbá tette.

A szakirodalom a fentiek alapján azt javasolja, hogy az altalajon mérhető „k” érték megfelelő bemenő adat a tervezéshez. Feltételezhető továbbá az is, hogy egy szemcsés ágyazati réteg hozzáadása növelheti „k” értékét. Az így elért javulás azonban tulajdonképpen az alkalmazott terhelés típusától és nagyságától, valamint az altalaj jellegétől függ, ahogy azt az 5. fejezet számításai is bemutatták. Mindenesetre normál körülmények között az ilyen javítások csekély hatással vannak a hajlítófeszültségekre és a feszültségek mélységi kiterjedésére. Ezért a TR34 irányelv [17] pl. azt javasolja, hogy a padlólemez kialakítása az altalaj javítóréteg nélküli „k” értékére épüljön. Ahol a terhek mértéke és az altalaj tulajdonságai lehetővé teszik ott az altalaj helyi stabilizációval vagy egy megtervezett javítóréteg hozzáadásával javítható. Ezeken a helyeken célszerű a padló kialakítását a stabilizált vagy fedőréteg „k” értékére alapozni, esetleg az altalaj és a fedőréteg együttes hatását figyelembe venni. Figyelmen kívül kell azonban hagyni a közvetlenül a padlólemez alá kerülő aljzatbeton rétegből adódó esetleges k-érték növekedést. A tervezési feladatok során javasolt megfelelő képzettségű geotechnikai mérnököt bevonni, hogy tanácsot adjon a megfelelő „k” értékről.

6.2. Terhek osztályozása és bemutatása a méretezés szempontjából

A 3.3. pont már részletesen ismertette az ipari padlók terheit, igénybevételeit, ugyanakkor ebben a fejezetben kerül bemutatásra a terhek hatásait befolyásoló változók és útmutatás az ipari padlók tervezésénél használandó biztonsági tényezők felvételére.

A padló tipikusan a következő terhek és hatások kombinációinak van kitéve:

- járműteher,
- koncentrált teher,
- megoszló terhelés,
- vonal és sáv menti terhelés,
- nem szokványos terhek,
- építési terhek,
- környezeti hatások.

A lemezt ezeknek a terheknek a legkritikusabb kombinációjára kell méretezni, ami a legnagyobb feszültséget eredményezi a lemezben. Mivel sok tényező, mint például lemezvastagság, a beton szilárdsága, az alépítmény merevsége és a teher is lényeges, ezért több teheresetet is behatóan meg kell vizsgálni, hogy meghatározható legyen a mértékadó.

Más potenciális terhelési körülményt, például olyan terheket, amik a szerkezet élete során változnak, vagy amik az építés különböző fázisaiban lépnek fel, is figyelembe kell venni. A lemez környezeti hatásoknak való kitettsége is gondot okoz. Az ilyen hatások közé tartozik az alépítmény térfogatváltozása (duzzadás, zsugorodás), amelyet az alépítmény tervezésével meg kell próbálni minimalizálni. További ilyen hatások az olyan felszereléssel ellátott épületek, amik csökkentik a páratartalmat és a hőmérsékletváltozás. A hőmérsékletváltozás hatásait csökkenteni lehet azzal, ha a padlót az épület bezárása után készítik el. Ezért az építési sorrend fontos, amikor meghatározzuk, hogy a változó környezeti tényezőket is figyelembe kell-e venni a tervezés során. Végül, a padló üzemszerű használata során előálló hőmérsékleti hatásokat is figyelembe kell venni.

6.2.1. Járműteher

Ipari padlók járműforgalmának nagy részét targoncaforgalom és teherautó forgalom (akár 30 tonna rakománnyal) teszi ki. Az ellensúlyos targoncák esetében a rakomány súlya és a targonca önsúlyának jelentős része a teherviselő tengelyre terhel. A padlólemez tervezését és a padlóvastagság megválasztását befolyásoló padlón közlekedő járművekkel kapcsolatos változók:

- maximum tengelyterhelés;
- terhelt kerekek távolsága;
- a kerék és a padló érintkezési felülete;
- a szerkezet élethossza során történő áthaladások száma.

A tengelyteher, a kerekek távolsága és az érintkezési felület a targonca vagy más járművek sajátja. Az élethossz alatti járműáthaladások száma, aminek ismerete nagy segítséget nyújt a biztonsági tényező meghatározásakor, a létesítmény funkciójától függ. A teher ismétlődéseinek száma és az útvonal mintázatának ismerete segíti a tervezőt abban, hogy számszerűsíteni tudja a fáradást. Tekintsük át, hogy ezek a változók megbecsülhetőek-e vagy eloszlásuk konstans-e a padló élete során. A padlót a várható nagyszámú járműáthaladás miatt, gyakran korlátlan számú teherismétlődésre méretezik.

Járműforgalomnak kitett padlók tervezésekor a padló későbbi használhatóságát jelentősen meghatározza a munkahézagok és vakhézagok szerkezeti kialakítása. A hézagoknak kellően merevnek kell lenniük és megfelelő nyíróerő átadási képességgel

kell rendelkezniük, hogy korlátozzuk a hézag két oldalának eltérő mozgását. Így a hézagkitöltő anyag jól tud dolgozni és ellenáll a hézagélek lehasadásának, amikor egy jármű áthajt a hézagon.

6.2.2. Koncentrált terhek

A raktározás hatékonyságában történő javulások és a raktártér bepakolási sűrűségének növekedése a polcláb terhek növekedését idézte elő. Ezek közé tartoznak a keskeny folyosók, jobban megrakott raklapok vagy jobban feltornyozott anyagok és az automata gépek megjelenése. Nagy polcterhek esetén, ahol nagy egybefüggő terület van bepolicolva (ami a mélyebb talajrétegekre is hatással van), és a polcok hosszú távon vannak leterhelve, figyelembe kell venni a hosszú távon kialakuló talajsüllyedéseket a tervezés során. Tehát ilyen esetben a terhek már nem csak az ágyazati rétegekben és azok alatt közvetlenül fekvő talajokban okoznak alakváltozásokat, hanem a mélyebb talajrétegekbe hatolva jelentős, akár cm-es nagyságú süllyedéseket okozhatnak. Repedéseket okozhat a polcrendszer túl korai betelepítése is, ami gátolja a padló zsugorodásból és hőmérsékletváltozásból fakadó mozgását és megakadályozza a vakhézagok aktiválódását. A polcok túl korai elhelyezése kényszereket jelenthet a padlón a polcrendszer merevítő hatása miatt, valamint az ágyazat és padló közötti megnövekedett súrlódási erő formájában (a leterhelt polcok nagyobb leszorító erőt jelentenek).

A koncentrált terheléssel összefüggő változók, amik hatással vannak a padló tervezésére:

- maximum vagy reprezentatív polcterhek;
- leterhelés hossza;
- polckiosztás és a folyosók szélessége;
- polcok hézagokhoz vagy lemezszélekhez képesti elhelyezkedése, és a hézag nyíróerő átadási kapacitása;
- a polcláb és a padló közötti érintkezési felület.

Az anyagtárolási rendszer nagy részét teszi ki az ipari létesítményeknek, ezért elrendezésének pontos tervei már a padlótervezési munkálatok kezdetén rendelkezésre kell álljanak. A polcokra vonatkozó adatokat azok gyártójától lehet beszerezni. Nem szokatlan nagyobb talplemez alkalmazását előírni a polclábon, mint ami normál esetben jár hozzá a nagy koncentrált erő okozta hajlítófeszültségek csökkentése érdekében. A talplemez méreteit úgy kell megválasztani, hogy egész felületén egyenletesen viselje a terheket.

6.2.3. Megoszló terhelés

Sok raktárcsarnokban és ipari létesítményben közvetlenül a padlón is tárolnak anyagokat. Azok a húzófeszültségek, melyeket az ilyen terhelés ébreszt a lemezben, kisebbek, mint a koncentrált teher által keltett húzófeszültség. A tervezésnél meg kell akadályoznia a negatív nyomatéki repedéseket (a lemez felső síkján, a folyosók közepén) és korlátoznia kell a vasalt lemezek repedéstágasságát a folyosó közepén. Nagy teherintenzitás, nagy alaprajzi területeket lefedő megoszló terhelés, és hosszútávú egyenletes leterhelés esetén számításba kell venni az alépítmény egyenlőtlen süllyedésének hatásait a tervezésben. A megoszló terheléssel kapcsolatos változók, melyek hatással vannak a padló tervezésére:

- maximális teherintenzitás;
- a leterhelés időtartama;
- a leterhelt terület méretei;
- folyosószélesség;
- van-e hézag a folyosón vagy a folyosóval párhuzamosan.

A teher intenzitása és elrendezése általában nem konstans a padló élethossza alatt. Ezért a lemezt a mértékadó teherelrendezésre kell tervezni.

6.2.4. Vonalmenti terhek

A vonal menti teher egy egyenletesen megoszló teher egy nagyon keskeny területen. Az a terhet tekinthető vonalmentinek, ahol a leterhelt terület szélessége kisebb a relatív merevség sugarának $\frac{1}{3}$ -ánál. Amikor a szélesség megközelíti ezt a korlátot, akkor ki kell számítani a lemezben ébredő feszültségeket vonal menti teherre is. Ha az eredmények közötti eltérés nem nagyobb 15%-nál a terhet lehet egyenletesen megoszlónak tekinteni. A padlón álló falak ilyen típusú terhek. Nagy teherintenzitás és hosszú távú leterhelés esetén az egyenlőtlen talajsüllyedések hatásaival is számolni kell a tervezéskor.

A vonal menti teher tervezési változói hasonlóak a megoszló terheléséhez:

- maximális teherintenzitás;
- a leterhelés időtartama;
- a leterhelt terület szélessége és hossza;
- folyosószélesség;
- hézag a folyosó területén vagy azzal párhuzamosan;
- egymással párhuzamos hézagok a folyosó mindkét szélén;

- a hézag nyíróerő átadási potenciálja, ami különösen fontos, amikor egy vonal menti teher merőlegesen keresztez egy hézagot, vagy a vonal menti teher közvetlenül szomszédos egy vele párhuzamos hézaggal.

6.2.5. Nem szokványos terhek

Az előzőekben tárgyalt tehertípusoktól eltérő terhelési körülmények is előállhatnak. Ezek a következő módokon különbözhetnek:

- a leterhelt terület elrendezése;
- egynél több tengelyre eloszló járműteher;
- több mint 2 vagy 4 kerék egy tengelyen.

A terhek változói hasonlóak az előzőekben tárgyalt tehertípusokéhoz.

6.2.6. Építési terhek

A létesítmény építése során különféle típusú berendezések fordulhatnak elő az újonnan épített padlón. A legáltalánosabb építési terhek:

- kisteherautók;
- ollós emelők;
- mixerautók;
- billenő platós tehergépjárművek;
- emelő berendezések és daruk az acélszerkezet építéséhez.

Továbbá a padló ki van téve állványzatok és építőanyagokkal megpakolt raklapok terhének. Az építési terhekre való tervezéskor érdemes a korai beton szilárdsággal számolni. Fontolóra vehetjük az építési terhek tiltását szabad lemezszélek és sarkok környezetében, habár ez nem túl biztonságos. Az építési teherrel kapcsolatos változók megegyeznek a járműteher, megoszló teher és koncentrált teher változóival.

6.2.7. Környezeti tényezők

A teljes padlótervezésbe beletartozik a hőmérsékletváltozásból, páratartalom csökkenésből, az általaj duzzadásából és a lemezvastagság mentén a nedvességtartalom változásából származó hajlítófeszültségek számításba vétele. Ezek a hatások kifejezetten fontosak kültéri lemezek vagy az épület le nem zárása előtt elkészült beltéri lemezek esetében. Ezek a hatások a padló felhajlását okozzák, ami plusz hajlítófeszültséghez vezet a lemezben, mert annak szélei felemelkednek az alépítményről. A felhajlott rész konzolként viselkedik.

A kényszerekből adódó feszültségek elhanyagolhatóak rövid lemezeknél, mert egy sima felszínű alépítmény nem akadályozza jelentősen a rövid szakaszokon történő

egyenletes hőmérsékletváltozásból adódó tágulási vagy összehúzódási mozgásokat, vagy a száradási zsugorodásból adódó mozgásokat. Viszont az egyéb beépített, padlómozgásokat gátló kényszereket el kell kerülni, mint például alaptestek, talpgerenda, árkok, gödrök. Ezeket a padlótól dilatációs hézagokkal el kell választani és a negatív sarkokat meg kell vasalni.

6.3. Biztonsági tényezők

Egyedülálló használhatósági követelmények különböztetik meg az ipari padlókat más típusú, esetleg burkolt padlóktól. Néhány ezek közül a használhatósági követelmények közül:

- a repedések és felhajlás kialakulásának minimalizálása;
- a felület nagy tartóssági igénye;
- a hézagok helyének és típusának optimalizálása a hézag stabilitásának érdekében. (A hézag stabilitása: a hézag két oldalán lévő padlótáblák egyenlőtlen kitérése, amikor egy jármű áthalad a hézagon arra merőleges irányban);
- a hosszú távú felületi egyenleteség és vízszintesség maximalizálása.

Mivel a tervezési szabványok elsősorban arra adnak útmutatásokat, hogy megelőzzék a katasztrofális szerkezeti tönkremeneteleket, amik veszélyeztetik a lakosság biztonságát, ezért a használhatósági biztonsági tényezőket ezekben a szabványokban nem érintik úgy, mint a teherbírásra vonatkozó biztonsági tényezőket. Amikor az ipari padló része a teherhordó szerkezetnek, és arra használják, hogy közvetítse a függőleges vagy vízszintes terheket a szerkezetről a talajra, akkor abban a teheresetben az EC útmutatásait kell követni.

A tervező határozza meg a biztonsági tényező mértékét, hogy minimalizálja a használhatóságot rontó meghibásodások megjelenésének valószínűségét. Most felsorolunk néhány tételt, amit a tervezőnek tekintetbe kell venni a biztonsági tényező kiválasztásakor:

- A használhatósági meghibásodások következményei, beleértve a termelékenység csökkenését, a használhatóság csökkenését, egy működő létesítményben történő padlójavítás költségeit;
- A betonkeverék összetétele és zsugorodási tulajdonságai (a zsugorodás vizsgálata és minimalizálása a lineáris száradási zsugorodás és a felhajlás csökkentése érdekében);
- Kontrollált páratartalmú belső tér, ami növeli a lineáris száradási zsugorodást és a felhajlást;

- Az alépítmény felszínének simasága és síksága a lineáris száradási zsugorodást gátló kényszerek minimalizálása érdekében;
- A hézagok osztásköze és kialakítása;
- A felszínhez közeli és a mélyebb talajrétegek beazonosítására végzett talajmechanikai vizsgálat;
- A teherismétlődések számának és a közlekedési útvonalak mintázatának ismerete, ami megengedi a fáradási repedések kialakulásának fontolóra vételét;
- Mechanikai behatások;
- A polcrendszer korai betelepítése, ami akadályozza a padló szabad mozgását lineáris zsugorodás közben;
- Több biztonsági tényező összevegyítése, ami túlságosan konzervatív tervezéshez vezet. Biztonsági tényező használata az ágyazási tényező meghatározásakor, a terhek felvételekor, a beton nyomó és húzó-hajlító szilárdságának meghatározásakor egy túlságosan konzervatív tervezéshez vezet, és ebből következően egy gazdaságtalanul drága szerkezethez is.

Juhász és munkatársai cikksorozatukban [35] összehasonlították a legelterjedtebb nemzetközi padlótervezési irányelvek (az angol TR34 [17], az amerikai ACI360 [36], az osztrák Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik kiadványa, a Merkblatt – Herstellung von faserbewehrten monolithischen Betonplatten [37] és a német tervezési gyakorlatot (Lohmeyer és Ebeling, a Betonpadlók gyártó és raktárcsarnokokban, tervezés, méretezés, kivitelezés) [38] gondolatiságát, tervezési alapjait. Jelen útmutató keretei nem alkalmasak arra, hogy ezek részleteiben kifejtésre kerüljenek. A fenti irányelvek eltérései azonban például a biztonsági tényezők értékeiben is megfigyelhető, lásd következő táblázatok.

A 14. táblázat néhány általánosan használt biztonsági tényezőt tartalmaz különféle padlóterhekhez. Legtöbbjük 1,7 és 2 közötti, de néhány terhelési állapotban egészen alacsony biztonsági tényezőt, 1,4-t is használnak.

Egy jármű mozgása fáradás hatásainak teszi ki a padlót. A fáradási teherbírást a statikus teherbíráshoz százalékos értékében fejezik ki, bizonyos mértékű fáradási teherbíráshoz bizonyos számú teherismétlődés tartozik. Ahogy a fellépő húzófeszültség és húzási szilárdság hanyadosa (azaz a kihasználtság) csökken, a padló annál több teherismétlődést bír ki a fáradási meghibásodás bekövetkezése előtt. A fárasztó terhek (pl. targonca) hatását dinamikus tényezőkkel (φ) célszerű növelni (lásd 15. táblázat és Eurocode 2).

14. táblázat - Különféle terheléseknél alkalmazott biztonsági tényezők [36]

A teher típusa	Legtöbbször használt biztonsági tényezők	Alkalmanként használt biztonsági tényezők
Járműteher	1,7-2,0	1,4-2,0 vagy nagyobb
Koncentrált teher	1,7-2,0	Bizonyos körülmények között magasabb
Megoszló teher	1,7-2,0	1,4
Vonal menti teher	1,7	2,0 a konzervatív felső határ
Építési teher	1,4-2,0	--

Biztonsági tényezők az angol gyakorlatban [17]:

- dinamikus terhelés esetén: 1,6
- polcláb terhelés esetén: 1,2
- egyéb terhelés: 1,5
- beton: 1,5
- betonacél: 1,15

15. táblázat: Biztonsági tényezők a német gyakorlatban [39]

S	1	2
Z	Teilsicherheitsbeiwert für	Industrieböden aus Beton
1	Ständige Einwirkungen γ_G	1,30
2	Veränderliche Einwirkungen γ_Q	1,30
3	Indirekte Einwirkungen $\gamma_{Q,T}$	1,00
4	Beton γ_c	1,35
5	Betonstahl γ_s	1,15
Hinweis: Für tragende oder aussteifende Industrieböden gilt DIN EN 1992-1-1, 2.4		
■ Schwingbeiwerte aus Nutzlasten (z. B. aus Gabelstaplerverkehr) dürfen wegen der elastischen Bettung des Industriebodens für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf $\varphi \leq 1,2$ begrenzt werden.		

6.4. A padló zsugorodásának és felhajlásának hatása a padló méretezésére

Annak érdekében, hogy a beton bedolgozható legyen, gyakorlatilag minden betont körülbelül kétszer annyi vízzel kevernek meg, mint ami szükséges lenne a cement hidratációjához. A víz elsősorban a felső felszínen keresztül hagyja el a rendszert, ezért egy nedvességi gradiens jelenik meg a lemez teteje és alja között. A nedves ágyazat és a kis páratartalom a felszínen felnagyítják ezt az eltérő nedvességtartalmat a betonban a padlóvastagság mentén. A zsugorodás mind a három dimenzióban történik, de a nedvesség felszínen keresztül való elpárolgása azt okozza, hogy a lemez felső fele

többet zsugorodik, mint az alsó fele. A felhajlást elsősorban a felső és alsó lemeztarétek különböző mértékű zsugorodása okozza. Sok tervező figyelmen kívül hagyja a lemez felszínen keresztül eltávozó nedvesség miatti felhajlás hatásait, habár ezek a feszültségek elég magasak lehetnek. A felhajlásból származó feszültségek könnyen elérhetik az 1,5-3,0 MPa közötti értékeket is. A lemeztervezésnek számolnia kell a két legfontosabb tétellel, melyek befolyásolják a felhajlást: az ágyazat nedvességtartalma és a beton zsugorodási potenciálja.

Megfelelően megválasztott tervezési intézkedésekkel csökkenthetők a zsugorodási repedések és a felhajlás. Ezek az intézkedések magukban foglalják a következőket:

- különböző betonkeverékek zsugorodási potenciálja;
- vasalás típusa és helye;
- ágyazati sűrűlódás;
- beton síkpontossága;
- beton vízzárósága;
- lemeztvastagság;
- zsugorodást gátló kényszerek;
- vágott hézagok elhelyezése;
- kielégítően megtervezett talajnedvesség elleni szigetelés és a víztelenítés.

Hőmérsékleti mozgást a lemez hőmérsékletének a beton bedolgozási hőmérsékletéhez képesti megváltozása okozza. Ezt akkor kell figyelembe venni, ha a beton bedolgozásának idején a hőmérséklete jelentősen eltér a későbbi üzemi hőmérsékletétől.

A betonpadlók szélének hézagánál vagy repedésnél való felhajlása közvetlen összefüggésben van a száradási zsugorodással. Felhajlás szintén kialakulhat a lemez alsó és felső része közötti hőmérsékleti különbségekből. Beltéri lemezek esetében a hőmérsékletkülönbség elenyésző a felső és az alsó rétegek között.

6.5. Padlók típusai a méretezés szempontjából

Jelen fejezet beazonosítja és röviden tárgyalja az ipari betonpadlók általános fajtáit. Az ipari betonpadlók magukba foglalják azokat a beltéri padlólemezeket, melyek az 3. és 4. fejezetben leírt terheknek vannak kitéve. Ezek lehetnek ipari, kereskedelmi vagy lakossági felhasználásúak.

A padló tervezőjének felelőssége, hogy megvitassa a padlóval szemben támasztott követelményeket a megrendelővel. Ezek a megbeszélések ki kell térjenek az egyes padlótípusok előnyös és hátrányos tulajdonságaira és hogy hogyan szolgálják ki a megrendelő által támasztott követelményeket. Fontos, hogy ezek a párbeszédnek lejátsszódjanak, és így a megrendelőnek valós elvárásai legyenek a kiválasztott

padlótípus teljesítményét és a jövőbeli fenntartási munkálatait illetően. Néhány a fontosabb elvárások közül, melyekről tárgyalni kell a leendő padló típusát illetően:

- repedési hajlam;
- repedéstágasság, amikor a lemez a repedéstágasság korlátozására szolgáló vasalást tartalmaz;
- a hézagok nyíróerő átadási kapacitása (vasalt v. vasalatlan hézagok);
- a lehetséges jövőbeli javítások igénye, beleértve a hézagok meghibásodását;
- a hézagok fenntartási igénye és a megrendelő felelőssége, hogy ezt a fenntartást megfelelően elvégezzék a kívánt időben;
- a padló síkpontossági és vízszintességi követelményei a megrendelő igényeinek kielégítésére;
- a síkpontosság és vízszintesség mértékében beálló változások az idő teltével, különösen kis páratartalmú környezetben

Négy alapvető tervezési alternatíva létezik ipari betonpadlók esetén [36]:

- 1.) Vasalatlan betonpadló.
- 2.) A repedéstágasság szabályozására alkalmazott vasalással készülő padló: szerelt acélháló, hegesztett acélháló, szálerősítés, mind sűrű hézagkiosztással; és folyamatosan vasalt, vakhézagoktól mentes.
- 3.) A repedések teljes megakadályozására szolgáló vasalással készülő padlók: zsugorodás-kompenzáló beton padló; és utófeszített vasalással készülő padló.
- 4.) A tartószerkezet részét képező padlólemez az Eurocode-nak megfelelően méretezve [40].

6.5.1. Vasalatlan betonpadló

Tervezés során azt feltételezhető, hogy a keresztmetszet berepedetlen az egyes hézagok között a hasznos teherből és gátolt alakváltozásokból keletkező feszültségekre. Vasalatlan betonlemez nem tartalmaznak makroszintetikus szálakat, hegesztett hálót, acélszálakat, sima vagy bordás acélbetéteket, utófeszítést vagy bármilyen más jellegű acél vasalást. Az MSZ EN 196-nak [41] megfelelő cementekkel készülnek. A száradási zsugorodás és az ágyazat egyenletességének hatása kritikus a vasalatlan betonpadlók teljesítményére nézve.

Hézagolt, vasalatlan, ágyazott betonlemezeknél a tervezés arra törekszik, hogy a repedések a bevágott hézagok alatt alakuljanak ki. Ipari környezetben, járműforgalom hatására a padló hajlamossá válik a hézagok éleinek egymáshoz képesti relatív elmozdulására, ami hézagfenntartási problémákat okozhat kerek jármű forgalomnak kitéve. Amikor a tervező nem biztos az adalékanyag szemcsék összekapaszkodásából adódó hosszú távú nyíróerő átadódásban, akkor hatékony

teher-közvetítő vasalást kell alkalmazni a hézagban minden egyes esetben, ahol a hézag járműforgalomnak van kitéve.

Amikor a lemez a teljes területén egyenletesen van leterhelve és egyenletes ágyazattal van alátámasztva, feszültségek csak gátolt térfogatváltozásból adódnak; habár a legtöbb lemez nem egyenletes terhelésnek van kitéve. Raktárcsarnokokban annak szükségessége, hogy a folyosókat üresen tartsuk a raktározott anyagok megközelíthetőségének érdekében váltakozó terhelt és nem terhelt területeket eredményez. A polcláb és targoncaterhek ennél komplexebb terhelési mintázatot mutatnak.

Koncentrált terhekkel terhelt ágyazott lemezek analízise Westergaard [27] [28] [29] munkáján alapszik. Három féle esettel kell számolni, ezek között a különbséget a teher lemez széléhez képesti helyzete adja [42]. Ezek az esetek a teher elhelyezkedés hatásának illusztrálására szolgálnak, kifejezetten szabad éleknél és sarkoknál. A legtöbb általában használt statikai tervezési módszer, amelyek a fentiekben kerültek tárgyalásra, nem tér ki a szabad élek és sarkok környékén elhelyezkedő terhekre. A padlólemezt a tervezőnek ezekre a terhekre is méreteznie kell.

A vastagság meghatározása úgy történik, mint egy vasalást nem tartalmazó betonlemezé; habár tartalmazhat a hézagokban acéltüskéket.

Az általánosan elfogadott módszerek vasalatlan ágyazott betonlemezek vastagságának meghatározására például amerikai PCA módszer [43]; WRI módszer [44]; COE módszer [45].

Ezen módszerek mindegyike, mint ahogy a 2. fejezetben leírtuk, arra törekszik, hogy elkerülje a lemez hasznos teher hatására történő megrepedését, úgy, hogy meghatározza a szükséges keresztmetszeti vastagságot a megfelelő biztonsági tényező használatával.

Ahhoz, hogy a terhekből származó feszültségek meghatározhatók legyenek, szükség van a teherátadó felület méretének meghatározására. Pontszerű terhelés esetében a feszültségek meghatározásához ki kell számítani az ekvivalens kör sugarát.

Az ekvivalens kör sugarának függvényében a következő teherelhelyezkedési eseteket különböztetjük meg:

- belső teher: ebben az esetben a teher a padló minden szélétől legalább $\ell + a$ távolságra van, ahol „a” a terhelő felület ekvivalens sugara;
- teher a padlószélen: ezen terhelési eset során a teher a padló egyik szélétől kisebb, mint $\ell + a$, a többi szélétől nagyobb, mint $\ell + a$ távolságra található;
- sarok terhelés: a teher két szélétől is $\ell + a$ távolságnál kisebb távolságra helyezkedik el.

A PCA és WRI módszerek csak a lemez belső területén ható terhekkel foglalkoznak, míg a COE módszer kizárólag a lemez szélén és a hézagoknál ható terheket vizsgálja. Az angol TR34 mindegyik esetet vizsgálja.

Feltételezve, hogy az ágyazat viszonylagosan mentes a váratlan magassági különbségektől, mint például keréknyomok, a zsugorodó lemeztáblában ágyazati súrlódás hatására kialakult húzófeszültség viszonylag kismértékű a felhajlás által ébresztett feszültségekhez képest. Ezek a felhajlási feszültségek a zsugorodási repedések valószínű okozói vasalatlan betonpadlóknál, ezért a hézagtávolság ne haladja meg a $22\text{-}30 \times \text{padlóvastagság}$ értéket, a beton zsugorodási mértékének függvényében. Lásd még 6.4. fejezet: hogyan befolyásolja a hézagok távolsága a felhajlásból adódó feszültségeket.

6.5.2. A repedéstágasság szabályozására alkalmazott vasalással készülő padló

Rugalmasan ágyazott lemezek vastagságát úgy kell megválasztani, hogy külső terhelés hatására ne keletkezzen repedés, ahogy ezt megtárgyaltuk az előző fejezetben. A lemez vastagságát meghatározó számításokat berepedetlen vasalatlan keresztmetszet feltételezésére kell alapozni. Ágyazott lemezekben lehet vasalást alkalmazni, hogy javítsuk a lemez teljesítményét bizonyos feltételek mellett. A vasalás alkalmazásának előnyei:

- zsugorodási repedések megnyílásának korlátozása;
- nagyobb hézagtávolságok, mint vasalatlan lemez esetében; és
- hajlítószilárdságot és szívósságot ad megrepedt részeken, valamint a repedés stabilitását.

A vasalás nem akadályozza meg a repedések kialakulását, hanem megnöveli a repedések gyakoriságát, miközben lecsökkenti a repedéstágasságot. Ha megfelelően van kiosztva és elhelyezve, a vasalás képes úgy korlátozni a repedések megnyílását, hogy azok nem lesznek hatással a lemez használhatóságára. Habár a repedések megjelenéséről egyeztetni kell a megrendelővel, hogy ne érje váratlanul a repedések megjelenése.

A vastagság meghatározásának módszere ugyanaz, mint a vasalatlan lemezek esetében. Ugyanis szintén azt feltételezzük, hogy a keresztmetszet nem reped be. A betonpadló hézagai között megjelenő zsugorodási repedések megnyílása egy névleges mennyiségű vasalással szabályozható. A lemez vasalása állhat acélbetétekből, hegesztett hálóból, acélszálakból vagy szintetikus makroszálakból.

A szerelt vagy hegesztett hálós vasalás arra is használható, hogy növeljük egy berepedt keresztmetszet hajlítási teherbírását. Abban az esetben, ha a lemez vastagsága nem elegendő ahhoz, hogy berepedetlenül hordja a rá ható terheket a hajlítási teherbírás

növelésére szolgáló vasalást a vasbeton elmélet alapján kell méretezni az EC2 szerint. A tervezési szabványok nem támogatják a szálerősítés használatát berepedt betonkeresztmetszetek hajlítási teherbírásának növelésére, amikor a szerkezeti elem más szerkezeti egységekről jövő függőleges és vízszintes terheket közvetít.

Az utófesztített vasaláson vagy zsugorodás-kompenzáló betonból készült padlók vasalásán kívül, a hálós vagy szálerősítésű vasalás nem képes a repedések megakadályozására. A padló hajlítási teherbírás növelésére legáltalánosabb eszköz a padlóvastagság növelése.

6.5.3. Zsugorodás-kompenzált beton ipari padlók

A zsugorodás-kompenzált betonból készült padlót vasalatlan lemezként lehet megtervezni, és a vasalást úgy kell méretezni, hogy megfeszítse a duzzadó lemezt, és az így keletkezett feszültség később kiegyenlítse a gátolt zsugorodási és hőmérsékletváltozási alakváltozások során ébredő ellentétes előjelű feszültséget. A zsugorodás-kompenzáló betonból készülő padlók egy duzzadó anyag önálló komponensként való hozzáadásával vagy az ASTM C845-nek [46] megfelelő K típusú duzzadó cementtel készülnek. Ez a beton is zsugorodik, de azt megelőzően duzzadás megy végbe a beton anyagában. A kezdeti duzzadás szabályozására és a beton megfeszítésére a hálós vasalás a betonlemez felső harmadában kerüljön elhelyezésre. Az acélhálónak merevnek kell lennie. A zsugorodás-kompenzáló betonban a duzzadást a vasalás gátolja, így húzás ébred a vasalásban. A vasalásban húzást előidéző duzzadási alakváltozás, mintegy reakcióként, nyomást kelt a betonban. Ezeket a feszültségeket a száradási zsugorodás és a kúszás fogja idővel leépíteni. Az a cél, hogy a gátolt duzzadás legyen nagyobb, mint a száradási zsugorodásból származó alakváltozás, és így a beton nyomásban maradjon. A lemezt egy összenyomható anyaggal el kell dilatálni a szerkezet fix részeitől, mint oszlopok, a kerület mentén végighúzódnó alapozás, hogy teret engedhessünk a lemez kezdeti duzzadásának.

6.5.4. Utófeszített vasbeton padlók

A talajon fekvő padlólemezeket utófeszíthetők a feszítópáaszma tapadóbetétes kialakításával vagy a feszítópáaszma és a kábelcsatorna közti tapadás kialakítása nélkül (csúszóbetétes kialakítás). A tapadóbetétes kialakítás ritkán használatos. A feszítópáaszmaikat akkor feszítik meg és horgonyozzák le, miután a beton elérte a megfelelő szilárdságot a feszítőerő felvételére. Az utófeszített ágyazott lemezek alkalmazásának fő előnyei:

- Nagyobb hézagtavolság – csak munkahézagok szükségesek – nincs vakhézag;
- Az aktív feszítőerő jelenléte minimalizálja a zsugorodási és hajlítási repedések megjelenését;
- Alacsonyabb életciklus költség, kevesebb fenntartásra szoruló hézag és nagyobb tartósság;
- Fokozott használhatóság és a hézagok javítási és fenntartási munkái miatti leállás minimális szükségessége;
- A padló felületi egyenletességének és vízszinteségének jobb megőrzése a hézagok számának és felhajlásának minimalizálásával;
- Kisebb lemezvastagság;
- Magasabb teherbírás;
- Nagy rugalmasság és túlterhelés utáni gyors felépülés.

Nem valószínű, hogy egy ágyazott lemez annyit alakváltozzon, hogy azzal meghaladja az utófeszítő páaszma folyáshoz tartozó alakváltozási határát, ez azt jelenti, hogy a túlterhelés hatására kialakuló repedések össze fognak záródni a terhelés eltávolítása után. Utófeszített lemezek kivitelezési munkálatai hozzáértéssel jellemezhető felügyeletet és szervezést igényelnek.

6.5.5. Tartószerkezeti szerepű beton és vasbeton padlók

A tartószerkezeti szerepű beton és vasbeton padlók, melyek a szerkezet más részeiről származó függőleges és vízszintes terheket juttatnak le a talajra az EC2 szerint tervezendőek.

6.5.6. Szálerősítésű beton padlólemezek

Szintetikus és acélszálakat arra használják a betonban, hogy javítsák a beton friss- és megszilárdult tulajdonságait. A nejlon és polipropilén szintetikus szálakkal szabályozható a véletlenszerű plasztikus zsugorodási repedések kialakulása. Az acélszálakat és a makro-szintetikus szálakat arra alkalmazhatók, hogy a megszilárdult beton véletlenszerű megrepedését szabályozzák. Ezek felhasználása a betonban előnyöket nyújt mind a beton képlékeny, mind a beton megszilárdult állapotában. A

szálerősítésű betonnal készült ágyazott lemezek teljesítménye függ a betonkeverék összeállításától és az összetevőktől, beleértve ebbe a szálerősítés típusát és mennyiségét.

6.5.6.1. Műanyagszál erősítésű beton padlólemez

A műanyagszálakat arra használják, hogy segítsék a betont a képlékeny és száradási zsugorodás során fellépő feszültségek viselésében. A finom mikro-szintetikus szálakat (átmérőjük kisebb mint 0,3 mm) többnyire kis mennyiségben, 0,1% vagy kevesebb a beton térfogatára vonatkoztatva adják a betonhoz a képlékeny zsugorodási repedések szabályozására. A mikro-műanyag szálakat (átmérőjük > 0,3 mm) nagyobb mennyiségben -0,25-1% a beton térfogatára vonatkoztatva- adagolják a száradási zsugorodásból fakadó repedések szabályozására. Az ipari padlóknál használt szintetikus szálak hossza 13-64 mm között változik.

A tervezési alapelvek mikro-műanyagszálakkal készült szálerősítésű betonok esetén ugyanazok, mint vasalatlan lemezek számára, beleértve a hézagtavolságra vonatkozó javaslatokat.

A makro-szintetikus szálak megnövekedett poszt-kritikus tartalékot képeznek beton ágyazott lemezek számára. A makro-szintetikus szálerősítésű betonok tervezéséhez ugyanazokat az alapelveket kell felhasználni, mint acélszál erősítés esetén.

Mikro-műanyagszál erősítésű betonok esetén ugyanazok a munkahézag és vakhézag kialakítási és kiosztási megállapítások érvényesek, mint vasalatlan betonlemezek esetében. A 0,2 és 1% között alkalmazott makro-szintetikus szál mennyiségek növelik a beton poszt-kritikus tartalékát. Ez az anyagviselkedés nagyobb távolságokat enged meg a vágott hézagok között; habár a hézagok stabilitása csökkenhet, ezért érdemes jól megfontolni a vágott hézagok távolságát.

6.5.6.2. Acélszál erősítésű beton padlólemez

Acélszálakat használnak ipari betonpadlók vasalására, hogy javítsák a duktilitást, az ütésállóságot, a hajlítási szívósságot, a fáradási tulajdonságokat, a repedések megnyílásának kontrollját és a hajlító-húzószilárdságot [37] [47] [48] [49]. Az acélszálak lehetnek simák vagy bordásak. A szál alakja hozzájárul a mechanikai behorgonyzódáshoz a betonba. A cementmátrixszal való kötés és a behorgonyzódás lehetővé teszi, hogy az acélszálak áthidalják a megszilárdult beton repedéseit és újra elosszák a terhelésből és zsugorodásból felgyülemlett feszültségeket. Az ipari padlóknál használt acélszálak hossza 19 és 64 mm között mozog. A beton vasalására szolgáló acélszálak rövidek, 20-tól 100-ig terjedő hossz/átmérő hányadossal rendelkeznek, és sokféle keresztmetszettel előfordulnak. Elég kicsik ahhoz, hogy a hagyományos keverési módszerekkel jól el lehessen oszlatni őket a frissbetonban. Az acélszálak bekötését a cementkőbe fokozza a mechanikai behorgonyzódás, a szál

felületének nagysága, az ötvözés, a felületi érdesség, vagy ezek kombinációja. A hosszú távú terhelés nem befolyásolja negatívan az acélszál erősítésű beton mechanikai tulajdonságait [50].

Az acélszálakat sok esetben használják a véletlenszerű repedések szabályozására. Ugyanúgy, mint a hagyományos vasalás esetében az acélszálak sem akadályozzák meg a repedések kialakulását, de kellőképpen szorosan tartják a repedéseket, hogy a padló kielégítse a használhatósági feltételeket teljes élettartama alatt. A véletlenszerű repedések szabályozásának foka közvetlen összefüggésben van a szál típusával és az adagolt mennyiséggel.

A hagyományos vasaláshoz hasonlóan, 0,25 és 0,5 térfogat% közötti mennyiségű acélszálás vasalás ($20\text{--}40\text{ kg/m}^3$) növeli a repedések számát és csökkenti a repedéstágasságot. Acélszál erősítésű beton hagyományos, bordázott vagy sima felületű vasalással való együttes használata szinergikus hatással bír és tervezhető olyan módon, hogy a húzóerők egy részét a hálós vasalás veszi fel, hozzájárulva ezzel a repedéstágasság szabályozásához. A repedéstágasság szabályozásának foka közvetlen összefüggésben áll a szál típusával és az adagolt mennyiséggel.

Általánosan elfogadott az, hogy 0,5 V%-nál (40 kg/m^3) kisebb mennyiségű acélszál nem befolyásolja a beton hajlító-húzó szilárdságát. A szívósság és a maradó hajlító-húzószilárdság alkalmas az acélszál erősítésű beton posztkritikus viselkedésének bemutatására. A hajlítási szívósság közvetlen összefüggésben van a keverék összetevőinek arányaival és az egyes összetevők tulajdonságaival, beleértve az alkalmazott szál fajtáját és mennyiségét.

Acélszál erősítésű betonok ütésállósága 3-10-szer nagyobb, mint az acélszál erősítés nélküli betoné, amikor robbanóerőnek, leejtett súlyoknak és dinamikus hajlító, húzó és nyomó terheknek tesszük ki. Az ütésállóság foka szintén közvetlen összefüggésben van a keverék összetevőinek arányaival és az egyes összetevőkkel, beleértve az alkalmazott szál fajtáját és mennyiségét.

Acélszál erősítésű betonok fáradási ellenállása a statikus hajlító-húzószilárdság hányadát tekintve 15-25%-kal nagyobb az acélszál erősítés nélküli betonéhoz képest a kétmillió ismétlődésnél, ha nyomó-lüktető igénybevételnek vetjük alá.

Acélszál erősítésű betonok nyírási teherbírása nagyobb átszúródásra és lehorgonyzó csavar kihúzódásra az acélszál erősítés nélküli betonnal összehasonlítva. A nyírási teherbírás foka közvetlen összefüggésben van a keverék összetevőinek arányaival és az egyes összetevőkkel, beleértve az alkalmazott szál fajtáját és mennyiségét.

Az acélszál erősítésű betonból készült betonpadlók vastagságának meghatározására szolgáló tervezési módszereket arra alapozzák, hogy az acélszál erősítésű beton a keresztmetszet berepedése után is rendelkezik némi teherbírással.

Hagyományosan a padlóknál használt acélszálás betonban az alakváltozás növekedésével csökken a húzófeszültség (ezt „alakváltozás lágyulás” -nak nevezik). Újabban olyan szálakat is fejlesztettek, amelyek alakváltozás felkeményedést

mutatnak. A szálerősítésű padlólemez nyomatéki teherbírása kiszámítható ugyanúgy, mint a hagyományosan vasalt keresztmetszetek esetében azon az elven, hogy a tönkremenetel akkor következik be, amikor a beton nyomófeszültségének szélsőértéke eléri a 0,0035-ös határértéket. A nyomatéki teherbírás pontos meghatározásához iteratív számításokat kell elvégezni a semleges tengely azon mélységének meghatározásához, amelynél a keresztmetszetben alakváltozás kompatibilitás, valamint a nyomó- és húzóerők egyensúlya érhető el. A beton nyomófeszültsége és alakváltozása közötti rugalmas/képlékeny összefüggés miatt a számítás bonyolult (lásd TR34 C Függelék).

6.6. A padlólemezek hézagainak teherbírása

A vágott hézagok távolságának meghatározását befolyásoló fő szempont az élek felhajlásának jelensége. A terhelt szabad élek elkerülésének érdekében követelmény, hogy minden munkahézag és minden közbenső vágott hézag közvetítse a nyíróerőt az egyes táblák között. Ugyanakkor, a felhajlás és zsugorodás is csökkenthetik a hézagok stabilitását, az által, hogy megszakítja az összekapaszkodó adalékanyag szemcsék vagy a csapos-hornyos kialakítású hézagok kapcsolatát, megengedve ezzel a szabad élek egymástól független mozgását. A hézagvasalást tartalmazó hézagok stabilitását is csökkenti a túlzott mértékű zsugorodás és felhajlás. A járműforgalomnak kitett hézagokban a nyíróerő átadására szolgáló vasalást kell alkalmazni a hézagban. Az acél hézagvasalás a leghatékonyabb mód annak érdekében, hogy biztosított legyen a nyíróerő átadódása és a felhajlott hézagszélek azonos eltolódása függőleges teher hatására.

Amikor a hézagok vasalva vannak, a hézagok élei még mindig felhajolhatnak és terhelés hatására elmozdulhatnak, de mindezt azonos mértékben teszik. Amikor a kerék eléri a hézagot a lemeztáblák között nincs szignifikáns függőleges magasságkülönbség, így a táblák élet érő mechanikai hatás nagy mértékben csökken.

A betonutak lemezeiben használt nyíróbetétekre vonatkozó specifikációkat EN 13877-3:2004 *Concrete pavements* [51] adja meg kis hosszúságú kör, négyzetes vagy téglalap keresztmetszetű sima felületű acélbetétekre, amelyeket szabad mozgású keresztchézagoknál használunk, hogy lehetővé tegyék a terhelések jelentős áthelyezését a hézag egyik oldaláról a másikra számottevő lehajláskülönbség nélkül. A nyíróbetét egyik végét az először öntött tábla oldalába betonozzuk be, míg a másik végénél kötésgátló anyagot hordunk fel annak érdekében, hogy a hézag vízszintes irányban megnyílhasson, függőleges relatív elmozdulás nélkül.

6.7. Talajon fekvő padlólemezek méretezésének alapelve és lépései

A fenti fejezetekben rámutattunk, hogy a betonpadlók alapvetően nem teherhordó épületrészek, más szerkezeti elemektől hézagok választják el. Egy betonpadló meghibásodása ugyan nem veszélyezteti az épület stabilitását, azonban egy csarnok üzemeltetője számára kritikus lehet a padló meghibásodása, mivel az a teljes üzemelés folyamatát zavarja.

A betonpadlókat ezért gondosan meg kell tervezni, és magát a padlólemezt méretezni szükséges. A következő alfejezetekben bemutatjuk a tervezés menetét és célszerű lépéseit.

6.7.1. Peremfeltételek definiálása

A padlólemezt teljesen alátámasztja az ágyazat és az altalaj, és feltételezhető, hogy a padlólemez alá sem a kivitelezéskor, sem a jövőben nincs hozzáférés, így a földem teljesen alátámasztott marad.

Egy betonpadló rendszere több rétegből tevődik össze:

Altalaj: jól tömörített, egyenletesen teherhordó, ellenkező esetben talajcsere vagy valamilyen más talajjavítás (pl.: kavicscölöpök, cölöpök stb) szükséges

Ágyazat: szemcsés réteg és/vagy talajstabilizációból készült rétegek a megfelelő teherbírás elérése érdekében

Beton padlólemez: elégséges vastagsággal, kellő mértékű szilárdsággal rendelkezzen a megfelelő teherbírás és tartósság érdekében

Felületi burkolat: speciális követelmények esetén (pl. kopásállóság fokozása, savállóság, ESD-védelem, szikramentesség, élelmiszeripari környezet stb)

A fenti rétegek együttműködése szükséges a betonpadló működőképességéhez, ezért minden alkotórétagnak eleget kell tennie a tervezés során előre meghatározott követelményeknek, amelyekre vonatkozóan az ellenőrzéseket el kell végezni.

Az altalaj, az ágyazat és a beton padlólemez rendszerét úgy kell méretezni, hogy képes legyen az igénybevételek felvételére és továbbítása lefelé.

Az elsődleges tervezési célok a várható terhelések viselése és a felületi repedések elkerülése.

6.7.2. Terhek felvétele

A méretezés végrehajtása előtt tisztázni kell a betonpadló terheinek mértékét és várható használatának jellegét.

A betonpadlón jelentkező terhek az állandóan és hosszú időn át ható terhekből (pl. önsúly és polcteher), és változó terhekből (változóan felrakott áruk tárolása, közlekedési terhek) adódnak, szorozva a hozzájuk tartozó biztonsági tényezőkkel.

Nem csupán a terhelési hatásokat, de a gátolt zsugorodásból és bizonyos esetekben a gátolt hőmérsékleti mozgásokból ébredő erőket is terhelési hatásnak tekinthetjük.

6.7.3. Az altalaj figyelembevétele és esetleges feljavítása

A meglévő teherhordó talajnak alkalmasnak kell lennie a padlólemezről adódó terhelések felvételére, és az alábbi feltételeknek. Egyenletes összetétel, jó tömöríthetőség, megfelelő teherbíróképesség. A teherhordó talaj elkészítéséhez rendelkezésre álló lehetőségek: megfelelő teherbírási természetes talaj, a talaj cseréje tömöríthető anyagra, talajstabilizálás; illetve mélyebb rétegek javítása esetén dinamikus/vibráció mélytömörítés, mélykeverés vagy beton/vasbeton cölöpök használata.

A jelentkező egyedi terhek mértékétől függően elegendő lehet az ágyazat és az alatta lévő 1-2 m vastag talajzóna vizsgálata, mélyebbre hatoló erők esetén az altalaj mélyebb, akár 5-10 m mélységig elhelyezkedő rétegei. Az ágyazat környezetében az altalaj megfelelő teherbírási van szükség, amelyet tárcsás teherbírási méréssel igazolni kell, míg a mélyebb rétegek vizsgálata során a padló vastagítása vagy a mélyebb rétegek valamilyen módon történő javítása szükséges.

6.7.4. Ágyazati rétegek figyelembevétele és esetleges feljavítása

A beton padlólemez jó teherbíró képességéhez meghatározott vastagságú és meghatározott tulajdonságokkal rendelkező ágyazatot kell beépíteni a tömörített altalajra. Az ágyazat ritkán maradhat el, mivel a talaj teherbíró képessége nem elegendő önmagában.

6.7.5. Hőszigetelő réteg figyelembevétele

Fűtött vagy hűtött beton padlólemezeknél mindenhol szükséges hőszigetelés beépítése. Ezeknek a rétegnek szintén közvetíteni kell a terheket az alsóbb rétegekre, ezért a kellően ellenállónak kell lenniük. A merevségük kisebb, mint az ágyazatoké, így azok merevségét lerontják, ezért a hőszigetelő anyagok hatását külön számba kell venni a tervezés során. Az ehhez szükséges nyomószilárdság alapján XPS szigetelőlemezek vagy ömlesztett szemcsés habüveg használható fel.

6.7.6. Elválasztó réteg helyének meghatározása

Az elválasztó réteg (pl. geotextília, PE-fólia) képes megakadályozni az alépitmény anyagának behatolását a betonba, a cementpép kiszivárgását a betonból az alépitménybe. A kavics, és zúzottkő rétegeket, és a hőszigetelő réteget mindig

elválasztó réteggel kell takarni, ha nem hordanánk fel szerelőbetont (pl. vasalt betonlemezek esetén).

Fontos megjegyezni, hogy az elválasztó réteg nem csúsztatóréteg és nem pótolja a szerelőbeton rétegét sem.

6.7.7. Csúsztató réteg tervezése

A padlólemez és az alépítmény közötti súrlódás csökkentése érdekében csúsztatóréteget lehet beépíteni 1 vagy 2 réteg min. 0,2 mm vastagságú PE-fólia formájában. A csúsztatóréteg elhelyezése több előnnyel is jár: csökkenti a súrlódási erőt a betonlemez és az ágyazat között, nem lépnek fel nagyobb és hosszú ideig ható húzófeszültségek a betonlemezben különösen nagy terheléseknél, nagyobb lesz a megengedett hézagtávolság, használat közben meggátolja a páradiffúziót az alépítményből a padlólemezbe.

6.7.8. Ágyazási tényező meghatározása

Az ágyazási tényező meghatározásának módszereit az 5. fejezetben mutattuk be. A tervezőnek mérlegelni kell a Megrendelővel történő konzultáció után, hogy a terhek milyen mértékű rövid-és hosszú távú alakváltozásokat eredményeznek a talajrétegekben, továbbá a konszolidációs süllyedések függvényében a padlólemez alatti rétegeket (ágyazati réteg, talajrétegek, esetleges hőszigetelés réteg) milyen mélységig és milyen számítási modellel veszik figyelembe a padló méretezésekor használt ágyazási együttható meghatározásakor.

Végeselemes komplex méretezés esetén (ahol a teljes ágyazatot és talajösszletet, valamint a padlólemezt is együttesen modellezzük végeselemekkel) a lemez méretezése történhet ún. származtatott ágyazási együtthatóval, ami gyakorlatilag a végeselemes számításból (pl. Plaxis) nyert lemez talpfeszültségeloszlás és süllyedéseloszlás hányadosa.

6.8. Az igénybevételek meghatározása

A tároló állványok és az anyagmozgató berendezések (MHE) által kifejtett pontszerű terhelések esetében kétféle igénybevételi mód okozhat tönkremenetelt: hajlítás és átszúródás.

6.8.1. A hajlítói igénybevételek meghatározása

A legtöbb padlóban hézagok vannak jelen, mivel gyakorlati korlátai vannak annak, hogy egy nap alatt mennyi betont lehet bebetonozni. A legtöbb esetben a kritikus terhelési eset a padlólemez hézagaihoz közel eső pontszerű terhek. Ezért minden

tervezési esetben ellenőrizni kell a hézagok melletti padlósél teherbírását. Ez a teherbírás jelentősen függ attól, hogy a hézag mechanizmusa képes-e a terhelést átadni a hézag egyik oldaláról másik oldalára. Ez különösen igaz a targonca teherre, amely a statikus terhelésekkel ellentétben nem helyezhető távolabbra a hézagoktól. A hézag mechanizmus állhat a padlóban elhelyezett hálós vasalásból, az acélbetétből álló vagy lemez formájú nyíróbetétből, vagy a beton adalékanyagából származó szemcsehatásból.

A pontszerű teher elhelyezkedésének függvényében megkülönböztetjük az alábbi eseteket:

- belső teher: ebben az esetben a teher a padló minden szélétől legalább $\ell + a$ távolságra van, ahol „a” a terhelő felület ekvivalens sugara;
- teher a padlósélen: e terhelési eset során a teher a padló egyik szélétől kisebb, mint $\ell + a$, a padlólemez többi szélétől nagyobb, mint $\ell + a$ távolságra található;
- sarok terhelés: a teher a két padlóséltől is $\ell + a$ távolságnál kisebb távolságra helyezkedik el.

Tervezési egyenletek egy pontteher esetén a TR34-ben [17] találhatóak meg, valamint mechanikai hátterük Meyerhof vonatkozó műveiben [52] találhatóak meg.

A vonalmenti terheléseket és az egyenletesen megoszló terheléseket rugalmas vizsgálattal számítható a Hetenyi-féle „Gerendák rugalmas alaptesteken” [53] alapján. A hajlító-igénybevételek véges elemes módszerrel is kiszámíthatók, továbbá a tervező úgy is dönthet, hogy a lemez alsó zónájában sem engedi meg a repedések megjelenését. Ez a tervezési módszer következésképpen nagyobb padlóvastagságot és nagyobb szilárdságot eredményez.

6.8.2. Az átszűrődési nyíróigénybevételek meghatározása

A földem koncentrált terhelések körüli átszűrődés elleni méretezése az Eurocode 2 földemekre vonatkozó megközelítésén alapul. Figyelembe kell venni azt aényt, hogy a terhelés egy része közvetlenül a padlólemezen keresztül jut le a talajra.

6.8.3. A gátolt alakváltozásból származó igénybevételek számítása

A padlólemez a terhelésből, és a gátolt száradási zsugorodásból származó húzófeszültségeknek is ki vannak téve. E két hatás kombinációja repedéseket okozhat. A terhelés által kiváltott feszültségek és zsugorodás együttes hatásainak reális értékelése problémás, és konzervatív tervezést eredményezhet anélkül, hogy jelentősen csökkentené a repedés kockázatát. A TR34-ben pl. a talajon fekvő padlólemezre alkalmazott megközelítés az, hogy figyelmen kívül hagyjuk a zsugorodás okozta feszültségek hatását, és minimalizáljuk a zsugorodást a betonkeverék tervezésének gondos odafigyelésével, valamint minimalizáljuk a gátolt

zsugorodást az ágyazat tervezésének és felépítésének gondos odafigyelésével, csúsztatórétegek használatával, a hézagtavolságok korlátozásával, valamint azáltal, hogy a padlót nem vasaljuk össze talpgerendákkal, pillérekkel vagy egyéb szerkezeti elemekkel. Ezzel a megközelítéssel kapcsolatban bebizonyosodott, hogy a vágott hézagos (6×6 m), hálós vasalással vagy szálerősítéssel ellátott padlók esetében, egy padlótablán belül nagyon kicsi a száradási zsugorodás okozta repedés kockázata. A nagyobb hézagtavolságú – amelyeket általában „hézagmentes” padlóknak nevezünk –, a repedések elméleti kockázata megnő az ágyazati súrlódás nagyobb zsugorodást gátló hatásának következtében. A hézagmentes padló esetében célszerű a kényszerfeszültségekből származó igénybevételeket is ellenőrizni.

6.9. A padlólemez teherbírásának meghatározása

6.9.1. A padlólemez nyomatéki teherbírásának meghatározása

A padlólemezek hajlításra történő tervezése pontszerű terhelések esetén a teherbírási határállapotnál (ULS) egyrészt alapulhat a folyáshatár elméletén, amely megfelelő duktilitást igényel a képlékeny viselkedés feltételezéséhez. Ahhoz, hogy az felső nyomatéki teherbírás mobilizálódhasson, az alsó folyásvonalak elégséges elfordulási képességére van szükség. Az ULS-nél az alsó nyomatéki folyási vonalak mentén fellépő hajlítónyomatékot a teljesen képlékeny (vagy a repedés után maradó) értékkel is feltételezhetjük. Mivel azonban az alapvető használhatósági követelmény a repedések elkerülése a felső felületen, a lemez hajlítónyomatéka a felső folyásvonalak mentén a beton repesztőnyomatékára korlátozódik, viszont az ULS-nek megfelelő osztott biztonsági tényező használatával. Ez egyébként nem egy valós ULS, mivel a padló nem megy úgy tönkre, mint egy földem, és a tervezési eljárás a valóságban megfelel a használhatósági követelményeknek. Ebből az következik, hogy a használhatóság szempontjából nincs külön tervezési ellenőrzés.

A nyomatéki teherbírást a különböző erősítések függvényében kell kiszámítani.

A legegyszerűbb eset az erősítés nélküli beton, mely során a nyomatéki teherbírás csak a padló vastagságától és a beton hajlító-húzószilárdságától függ. Amennyiben a padlóban acélbetét erősítés található, úgy a nyomatéki teherbírás is ennek függvényében változik, ekkor a méretezés II. feszültségállapotban történik. A nyomatéki teherbírás ez esetben a betonacél szilárdságától, keresztmetszeti területétől, és a vasalás padlólemezen belüli magassági helyzetétől függ.

6.9.2. A padlólemez átszűrődési nyírási teherbírásának meghatározása

A padló átszűrődés vizsgálata az Eurocode 2 vonatkozó részei alapján történik, mely a nyíróerő értékét vizsgálja a teherátadó felületen, valamint a felülettől $2d$ (d : a padló hasznos magassága) távolságra lévő kritikus átszűrődési vonalon. Vasalás nélküli betonlemezek nyírási teherbírása a lemez vastagságától és a beton szilárdságától függ. Vasalás esetében a nyírási teherbírás számításában a lemez mindkét irányában elhelyezett vasalás hányada is szerepel.

6.9.3. A padlólemez ellenőrzése

Az igénybevételek és a teherbírások összehasonlításának eredményeképpen megkapjuk a szükséges betonvastagságot, betonszilárdságot, esetleges vasalás, szálerősítés szükséges mennyiségét.

6.9.4. Betonösszetétel tervezése

A betonpadlók tervezésének utolsó lépése – a terhekre és egyéb hatásokra történő méretezést követően –, hogy a gátolt alakváltozások minimalizálása érdekében (azon túl, hogy csúsztatóréteget helyeztünk el a padló és az ágyazat közé) kis zsugorodású betonösszetételt tervezünk. Ehhez célszerű betontechnológus bevonása a tervezés ezen szakaszában.

6.9.5. Felületképzés tervezése

A betonpadlók felületi követelményeit (felületi egyenletesség, kopásállóság stb.) figyelembe vevő felületképzést kell tervezni, amely simított vagy csiszolt betonfelületet, impregnált betonfelület, vagy műgyanta bevonati rendszert is jelenthet.

6.9.6. Beton- és építéstechnológiai utasítás és Mintavételi és Megfelelőségigazolási Terv készítése

A megtervezett betonpadló megvalósulásának feltétele, hogy a padló építési körülményeire, a betonozásra, a frissbeton helyszíni minőségellenőrzésére vonatkozó követelményeket előírásra kerüljenek. E két dokumentum elkészítéséhez, valamint a célszerű tervezői művezetéshez szintén betontechnológus bevonása javasolt.

7. Kivitelezéshez kapcsolódó kérdések

7.1. Altalaj

A kivitelezés során a területen a humuszos feltalajt és azokat a rétegeket, amelyek a földműépítésre nem alkalmasak el kell távolítani. A padlók alatti altalaj lehet a helyben megtalálható talajból, esetleg annak keresztz szállításból kialakított bevágásából és töltéséből, valamint töltésként épülhet egyéb földműépítésre alkalmas anyagból. A földműépítésre való alkalmasságát az e-Ut 06.02.11:2022 [22] előírásai alapján kell meghatározni.

A földművet úgy kell létrehozni, hogy az alkalmas legyen a betonpadló viselésére. Az altalaj jelentősen hozzájárul az egész szerkezet működőképességéhez, különböző feltételeket kell teljesíteni:

- egyenletes összetétel a teljes felületen,
- jó tömöríthetőség,
- megfelelő teherbíró képesség,
- jó vízelvezető és
- megfelelő fagyállóság a szabadban lévő felületeknél.

A talajok térfogatváltozásihajlamából adódó hatásokat külön kell vizsgálni a padlók tervezése során.

A szintre rendezett és tömörített altalaj magasságát geodéziai mérésekkel kell ellenőrizni és minősíteni. A minősítés során $\pm 3,0\text{cm}$ toleranciát javasolt előírni.

Az alakváltozási modulus statikus tárcsás teherbírásméréssel vizsgálattal mérhető, és mint E_2 -értéket adják meg. A teherbírási méréseket alapvetően 500 m^2 -ként, nagy területű padlók esetén 1000 m^2 -ként kell elvégezni. Az altalaj javítása szükséges, ha az alakváltozási modulus kisebb a vonatkozó műszaki előírásban előírt értékeknél.

7.2. Ágyzatok

A betonpadló kielégítő teherbírásiának eléréséhez meghatározott vastagságú és minőségű anyagból ágyzat megépítése szükséges a minősített földművön.

Az ágyzatot mindig géppel, hengerrel vagy nehéz lap vibrátorokkal kell tömöríteni. Az elért tömörség ellenőrzése különösen fontos. Egyszerű munkahelyi eljárások értékes segítséget nyújtanak az elért tömörség meghatározásához. Ezt szolgálja a tehergépkocsival való bejárás vagy a szintezés.

Pontosabb vizsgálatok végezhetők egy geotechnikai laboratórium bevonásával. A zúzottkőből és a talajstabilizációból készülő ágyzatok esetében a tömörségmérés radioizotópos tömörségmérővel a mérési módszer korlátai miatt nem lehetséges, ezért ballonos homokkitöltéses tömörségmérést vagy a statikus tárcsás teherbírásmérés

tömörségi tényezőjét javasolt használni a minősítéshez. A tömörségi tényezővel ($T_t = E_2/E_1$) való tömörségi fok minősítési értékekre az e-Ut 06.02.11:2022 [22] előírásai adnak útmutatást. Ágyazatok esetében a $T_t < 2,0-2,1$ értéket javasolt alkalmazni.

A betonpadló igénybevételeitől függően az ágyazathoz meghatározott E_{2m} alakváltozási modulus szükséges legalább. Ezek az adatok a vonatkozó terv műszaki előírásokból vehetők ki. Az ágyazat teherbírását alapvetően 500 m²-ként, nagy területű padlók esetén 1000 m²-ként kell elvégezni. A minősítést alapvetően statikus tárcsás teherbírásméréssel kell elvégezni, azonban nagy számú minősítő vizsgálat esetén célszerű lehet a mérések egy részét ejtősúlyos teherbírásméréssel végezni. Ejtősúlyos mérőeszközből számítható E_2 értékek használata esetén szükséges a szakirodalmi ajánlásokban előírt korlátokat figyelembe venni és kalibráló méréseket készíteni.



17. fénykép: Statikus tárcsás és könnyű ejtősúlyos teherbírás mérés (forrás: EFERTE)

Az ágyazat típusát és vastagságát össze kell egyeztetni a terheléssel. Erre mértékadó a betonpadló használatakor ható maximális koncentrált terhelés.

Az ágyazatot legalább 20 cm vastagra kell tervezni, amelynél legfeljebb -2,0 cm eltérést javasolt előírni. A felület síkbeli tűrései vagy az ágyazat pontatlan magassági szintje nem csökkentheti a szükséges lemezvastagságot.

Az ágyazatokat 20-100 cm-es vastagságban szokás készíteni a vonatkozó műszaki előírásoknak megfelelően.

Amennyiben az altalaj anyaga kötött vagy átmeneti talaj típusú, úgy az ágyazat és az altalaj elválasztása céljából geotextíliát kell fektetni. A geotextília minősége feleljen meg a tervek műszaki leírásában foglaltakkal, ezt gyártói teljesítmény nyilatkozat alapján kell ellenőrizni.



18. fénykép: Ipari padló alatti ágyazat beépítése

7.3. Elválasztó és csúsztató rétegek

Az elválasztó rétegek a betonlemez és az ágyazat közé két réteg műanyag fóliából, polietilénfóliából alakíthatók ki. Használatuk az 6.7.6. és 6.7.7. fejezetekben leírt statikai szükségesség mellett kivitelezés technikai okok miatt is szükséges:

- megakadályozzák az ágyazat anyagának behatolását a betonba,
- elkerülhető a vízelszívárgása a betonból az altalajba, ami a beton szilárdulási folyamatára negatív hatással lehet,
- megakadályozzák a páradiffúziót az ágyazatból a betonlemezbe használat közben.

A csúsztató rétegek nagy, hosszan tartó terhelések és $L > 8$ m-es hézagtávolságok esetében mindig szükségesek. Alapvetően két réteg $\geq 0,1$ mm-es PE - fóliából készíthetők, ha nem kell különleges csúsztatófóliákat alkalmazni. A csúsztató réteg annál hatékonyabb lesz, minél inkább sík a fektetése és beépítése, ezért ezt a kivitelezés során szemrevételezéssel ellenőrizni szükséges.

7.4. Beton (padló) lemezek

A C20/25-ös minőségű padlóbeton kivitelezése az általános betonpadlókhöz megfelelő. Az 50 kN -ig terjedő terhelésű betonpadlókra a megfelelő C20/25 betonnál legalább 4,5 N/mm² hajlító-húzó szilárdság szükséges.

A C25/30-as minőségű padlóbeton a nagyobb terheléseknél nemcsak megfelelő nyomószilárdságot, hanem mindenekelőtt kellően nagy hajlító-húzó szilárdságot is biztosít. A terhelés nagyságától függően a hajlító-húzó szilárdság legalább 5,0, ill. 5,5 N/mm² legyen.

A C30/37-es minőségű padlóbeton nagyon nagy terhelésű és mechanikus igénybevételű betonpadlókhoz szükséges. A hajlító-húzó szilárdság legalább 6,0 N/mm² legyen.



19. fénykép: Elkészült ipari padló betonja

A szabadban lévő betonpadlókat legalább C30/37-es betonból kell készíteni. A faggyal és olvasztó sóval szembeni megfelelő ellenálláshoz LP légbuborékképzőt kell adagolni. Ez a környező felületekre is érvényes, amelyekre a járművek olvasztó sót hordanak, ha ott időnként 0 °C alatti hőmérséklet fordulhat elő.



20. fénykép: Kültéren készülő padló betonozása

Az igénybevételtől függően 15-30 cm vastag padlólemezek lehetségesek, de 18-25 cm-esek az általánosan elterjedtek. A beton összetételét alkalmassági vizsgálatok alapján kell úgy meghatározni, hogy friss betonnaként jól bedolgozható legyen, szilárd betonnaként pedig teljesítse a támasztott követelményeket.

- a padló frissbetonjával szembeni legfontosabb követelmény a konzisztencia állandósítása, amelynél a v/c tényező $\leq 0,5$ legyen,
- a megfelelő v/c tényező eléréséhez és állandósításához szuperfolyósítók (pl.: Mapei, SIKA) alkalmazása szükséges.
- a konzisztencia állandó ellenőrzése - mixerenként – terület méréssel kiemelt követelmény.



21. fénykép: Betonozás során végzett terület mérés

A beton keverés helye szerint a betont transzportbetonnak vagy helyszíni betonnak nevezik. A betont többnyire transzportbeton gyárakban keverik. Onnan a betont mixer kocsikban az építés helyére szállítják. A betont építési vállalatok építik be, gyakran azonban speciális vállalatok is, amelyek az építési vállalatok alvállalkozójaként dolgoznak. Ahhoz, hogy egy betonpadló sikerüljön, kifogástalan keverésre és a beton gondos beépítésére van szükség.

Ezért a padlóépítő cég és a transzportbeton gyár között pontos egyeztetés szükséges. Ide tartozik főképpen:

- a beton pontos összetételének meghatározása,
- megállapodás egy meghatározott konzisztencia tartományról,
- a betonozás kezdete,
- óránkénti betonmennyiség.



22. fénykép: Betonmixerekből surrantóval betonozzák az ipari padlót

A beton beépítésekor ügyelni kell arra, hogy az elválasztó és csúsztató rétegek ne mozduljanak el, és a fóliák ne gyűrődjenek vagy szakadjanak. Ha hidraulikus kötőanyagú ágyazatoknál (pl.: Ckt) nem használnak fóliákat, az ágyazatot a beton felhordása előtt alaposan meg kell nedvesíteni, ez azonban az ágyazat alatti talajok elnedvesedését is okozhatja, ezért ennek módját külön ki kell dolgozni a technológiai utasításban.

A betont a leszállítás után azonnal át kell venni, és folyamatosan beépíteni. Tömöríteni kell, és a felületet simára lehúzni. A tömörítéshez általában vibro pallókat használnak. A beton lehúzásakor a vibro palló vezetéséhez vagy pontos magasságú sablonok, betonút formasínek, vagy előzetesen készített betonfelületek szükségesek. Más a helyzet különleges beépítő eljárások alkalmazásakor, mint pl. lézervezérlésű vibrogerendáknál.



23. fénykép: Lézervezérlésű vibrogerenda

Egyes mezők betonozásakor célszerű sakktáblaszerűen dolgozni. A formasíneket mezőnként kell elhelyezni, körben kontakthézagok keletkeznek. Ha nagy felületi egyenletesség a követelmény, akkor speciális készülék nélkül lehetőleg kerülni kell a 6 m feletti lehúzási szélességeket. A sima felület előfeltétele a pontos lehúzás, ami döntő jelentőségű a végeredményt illetően.

A beton beépítésekor ügyelni kell arra, hogy az egyenletesség megengedett tűrései ellenére, vagy az ágyazat pontatlan magassági helyzete esetében is mindenütt meglegyen a betonlemez szükséges vastagsága.



24. fénykép: Formasínek alkalmazása a betonozási munkákhoz

Padlólemezek vasalásai:

- Hálós vasalással, amely leggyakoribb esetben két rétegben, de gyakori esetben készülnek egy rétegben is. A vasalást általában a betonozás előtt kell elhelyezni és távtartókkal a letaposás és elmozdulás (mérettartás) ellen biztosítani kell. A vasalás szükséges betontakarást alul $c_v = 3$ cm, felül $c_v = 4$ cm értékkel kell készíteni.
- Szálerősítésű betonpadlók készülnek leggyakrabban, amelyekben acélszálak vagy műanyag és üveg szálak kerülnek.

Műanyag szálakat pl. polipropilénből vagy poliakrilonitrilből készítenek. Ezek kis átmérőjű, könnyű szálak. Már kis mennyiségekben is kedvezően befolyásolhatják a beton korai repedésérzékenységét. Köbméterenként 1 kg szükséges. A teherbírást nem növelik.

Az acélszálak általában 0,8 - 1 mm átmérőjű és 50-60 mm hosszú acélhuzalokból állnak, vagy maratott szálak sarló alakú keresztmetszettel. Az acélhuzalok felülete sima vagy

profilozott. A huzalok végén horog vagy vastagítás van, vagy különleges kialakításúak (pl. hullámos vagy cikkcakkos alak), hogy jobban lehorgonyozódjanak a betonban. Az acélszálak alkalmazásával a betonpadlók különösen szívóssá válnak.

Az acél és műanyagszálak használata esetén fontos, hogy a szálak homogénen elkeveredjenek a teljes bedolgozásra kerülő betonmennyiségben. A kezdeti időkben a teljes szálmennyiséget egyszerre adták be a mixerekbe és emiatt sokszor csomósodás következett be, tehát a szálak egymásba akadva egy öklömnyi vagy fej nagyságú „labdává” álltak össze és nem tudtak elkeveredni a betonban. A technológiai fejlődésével mostanra már próbálják ezt a problémát a szálak folyamatos beadagolásával elkerülni. Ezt acélszálak esetén egy mixerbe való betonbetöltés során alkalmazott szállítószalaggal oldják meg, ami a betonbetöltéssel párhuzamosan folyamatosan adagolja be az előírt mennyiséget. Műanyagszálak esetén nem szállítószalagot alkalmaznak, hanem a keverés során történő folyamatos hozzáadást. Kevésbé elterjedt, de szintén hatékony technológia a szálak keverőtérbe való bejuttatására azok keverőtérbe való befújása.

A szálak betonban való homogenitását alapvetően a betonozás során szemrevételezéssel ellenőrzik. Ha a kivitelezés során mégis csomósodás tapasztalható, akkor ellenőrizni kell a betonösszetételt (pl: megfelelő pépmennyiség van-e a szálak felvételére), a keverési metódust, illetve akár a mixer állapotának ellenőrzése (pl. keverőlapátok kopása) is fontos lehet.

Az ipari padlóbetonok kivitelezésénél az alábbi szerkezeti megoldások alkalmazása elengedhetetlenek:

a.) Dilatációs hézagok kialakítása

A betonlemezekben mindig szükség van dilatációs hézagokra, ha a repedések keletkezésének veszélyét minimalizálni kell. A betonlemezekben lévő dilatációs hézagok megakadályozzák a repedések keletkezését.

A hézagok típusa és helyzete:

- vakhézagok (utólag bevágott hézagok)
- munka-, ill. kontakthézagok
- dilatációs (épülettágulási) hézagok

A hézagok kivitelezését megfelelő időben kell megkezdeni. Túl korai időszakban a beton még nem vágható megfelelően, azonban, ha túl hosszú idő telik el a betonozástól a repedések nem irányított módon a bevágásoknál jönnek létre, hanem nem megfelelő helyeken jelennek meg. A hézagok vágása során ügyelni kell a kellő mélységig való bevágásra, illetve kellően széles hézagvágásra. Ezt követi a hézagok portalanítása, majd a szakszerű alapozó felvitele és végül a poliuretán vagy poliurea kitöltő anyagok beépítése. A kitöltő anyagok beépítését is megfelelő időben kell végezni. Ha túl hamar

kitöltik őket, akkor a zsugorodás miatt még tágulnak majd a hézagok, ezért korábban kipereg a kitöltő anyag. A kitöltő anyag idővel való kipergése természetes, ezért azt néhány év után felül kell vizsgálni és a szükséges pótlásokat, kipergéseket a padlóélek védelme érdekében javítani és pótolni kell.

b.) Dűbelek és csapok

A betonlemezekben lévő dilatációs és kontakthézagoknál a teherátvitelhez és a betonlemez azonos magassági helyzetének biztosításához szükséges elemek. Kivitelezés során az elhelyezés pontosságára kell ügyelni.

c.) Kemény (kopásálló) anyagú réteg a padló felületén

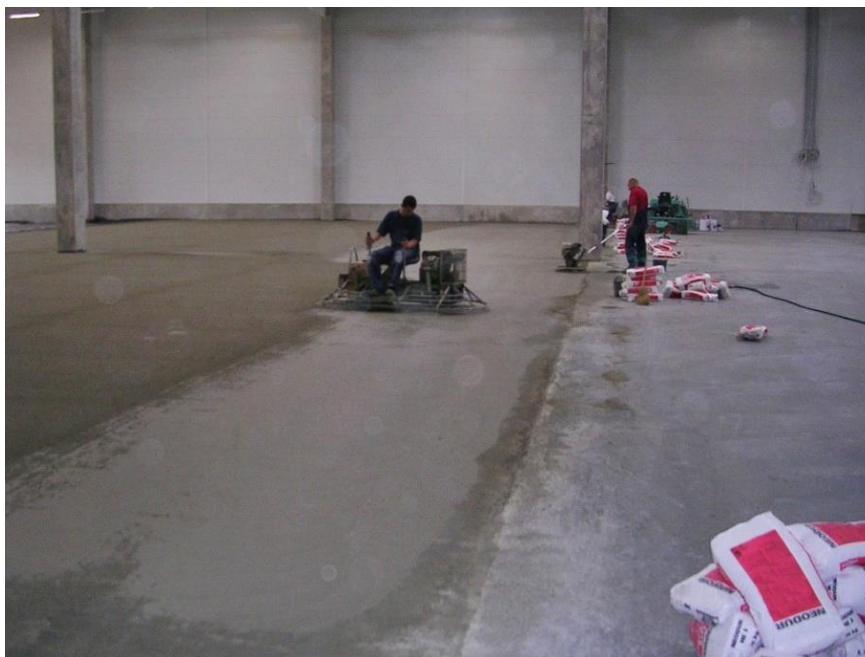
A friss teherviselő betonra „frisset frissre” építik be. Kemény anyagok bedolgozásával a szokásos adalékanyaggal készített beton felületi szilárdsága javítható. Az egyenletesre lehúzott betonfelületre a meghatározott mennyiségű - általában 5 kg / m^2 - keményanyagot a lehető legkorábban felhordják és bedolgozzák, amint a beton járható lesz. Csak igen gondos munka esetében keletkezik teljes felületű és teljesen fedő kemény anyagú réteg. A kemény anyagú rétegek a teherviselő betonra, „frisset frissre” felhordva a nagy igénybevételű csarnokpadlók szokásos esetét képezik. A kemény (kopásálló) réteg frissbeton felületre felhordása kézi szórókocsival vagy gépi szórógéppel Topping Spreaderrel történik.

A felület megmunkálásához – bedolgozásához speciális padlófelület megmunkáló gépeket (helikoptereket) használnak.



25. fénykép: Ipari padló felület tárcsázása

A felületi megmunkálás nagyon igényes munkafázis, ezeket csak az arra kiképzett, lelkiismeretes szakemberekkel lehet kivitelezni.



26. fénykép: Ipari padló felület tárcsázása

A szilárduló beton védelme, a betonpadló repedésmentes kivitelezéséhez (főleg nagy táblahosszaknál), a kellő koptatási ellenálláshoz és a kifogástalan használathoz hatékony utókezelés szükséges. A beton lehetőleg korán kezdődő, elég hatékony és hosszú utókezelése lényeges előfeltétel a felület kifogástalan minőségének eléréséhez. A következő hiányosságokat többnyire az utókezelés hibái okozzák, de legalábbis hozzájárulnak:

- a porzó felületek,
- a hálós repedések,
- a táblaszéli felhajlások (curling).

Az utókezelésnek védenie kell a beton felületét a túl gyors lehűléstől és a kiszáradástól a szilárdulás során. Ehhez figyelembe kell venni a „Beton utókezelésének irányelve” útmutatását.

Szokásos utókezelési eljárások:

- folyékony utókezelő szerek felületre történő szórása,
- fóliatakarás,
- víztartó takarások felvitele,
- tartós öntözés vízzel vagy ezeknek az eljárásoknak a kombinációja.



27. fénykép: Beton utókezelése vízzel való elárasztással



28. fénykép: Beton utókezelése párazáró szóróanyaggal vagy fólia takarással

Egyes eljárások kombinálhatók hőszigetelő eljárásokkal a lehűlés elleni védelemhez, pl. letakarás fóliákkal és szőnyegekkel. Az utókezelés időtartama függ a hőmérséklettől, amikor a beton megszilárdul. A beton beépítése és a kezdődő megszilárdulás alatt nem lehet huzat. Az ablakokat, ajtókat és más nyílásokat zárva kell tartani. A beton beépítése utáni első tíz nap során a hőmérséklet nem lehet $+ 5\text{ °C}$ alatti.

7.5. Minőségbiztosítás

Annak érdekében, hogy a betonpadló hosszú időn át megfeleljen a későbbi igénybevételeknek, a minőségbiztosításhoz a kivitelezés előtt és alatt különböző vizsgálatok szükségesek.

Az egyes szerkezeti részeknél elvégzendő vizsgálatok:

- altalaj és ágyazat anyagvizsgálata,
- teherbírási vizsgálat (E_2),
- ágyazat magasság ellenőrzése szintezéssel,
- padlólemez vizsgálata:
 - betonok vizsgálatai (konzisztencia)
 - v/c tényez
 - nyomószilárdsági
 - hajlító-húzó szilárdság
 - mennyiségi ellenőrzések
- vasalások vizsgálata:
 - acélszálak (acélhaj) minőségi és mennyiségi
 - hálós vasalásoknál a terv szerinti elhelyezés vizsgálata
- kész padlólemez vizsgálatai:
 - felületi egyenletesség vizsgálata
 - kopásállóság vizsgálata (igazoló vizsgálat).

Alapvető követelmények a padlók betonjával szemben:

- legalább C20/25-ös szilárdsági osztályban tartozzon,
- a felülete szilárd legyen (szétosztályozódás miatti cementpép nélkül, ne legyen kiszáradt felület a gyors kiszáradás miatt, kvarcpróba acéltüskével),
- a felület legyen mentes a laza alkotórészekről, a habarcsmaradványok, olaj, festékmaradványok stb. okozta szennyeződésektől,
- repedésmentes legyen, különben le kell zárni a repedéseket,
- betonadalékok és utókezelő szerek maradványai nem csorbíthatják a felület húzószilárdságát,
- a szükséges felületi húzószilárdsága legalább $1,54 \text{ N/mm}^2$ legyen,
- egyenletessége a DIN vagy TR34 előírásai szerinti legyen,
- a vágott hézagok nem térhetnek el az egyenestől $\pm 3 \text{ mm}$ -nél nagyobb mértékben,
- a kemény anyagú réteg készítése és megszilárdulása alatti védelem: huzat ellen az épületen belül, csapadék ellen kemény anyaggal a szabadban végzett munkáknál (pl. sátrak, letakarások), a levegő és a teherviselő beton $+ 5^\circ\text{C}$ alatti hőmérséklete ellen,
- a szennyeződések eltávolítása nagynyomású vízszugárral végzett nedvestisztítással és a piszok azonnali elszívásával,
- az olaj, zsír és vegyszerek eltávolítása takarítógépekkel, megfelelő tisztítószerrel,

A leggyakrabban előforduló padló meghibásodások:

- Az ágyazat nem elégséges teherbírása és felületi egyenletessége (elvékonyodik vagy megvastagszik a betonlemez), terhelés hatására később repedések jelentkeznek az ipari padlón.
- Fólia csúszóréteg nem megfelelő elhelyezése, így a padlólemez zsugorodása folyamán gátolt alakváltozás keletkezhet.
- Betonösszetétel hiányosságai:
 - magasabb v/c tényező,
 - adalékanyag szemszerkezetének nem megfelelő összetétele,
 - nem megfelelő cement kiválasztás.
- Betonbedolgozás hibái:
 - vibrálási hiányosságok,
 - felületi szinteltérések (egyenletlenségek),
 - hibás lemezsél zsaluzások,
 - acélszálak nem egyenletes bekeverése a betonba, szálak megjelenhetnek a felületen.
- Felületi megmunkálás, csiszolás hibái:
 - kopásálló réteg korai vagy későn történő bedolgozása a felületre, az optimális időpontot kell kitapasztalni, mert esetben a kopásálló réteg ún. felválása jelentkezik,
 - felület utólagos túlvizezése a csiszolás ill. megmunkálások során – a felületen mikro-repedések alakulnak ki.
- Dilatációs bevágások hibái:
 - túl korai bevágásból lemezszélek kipattogzása jelentkezik,
 - a túl későn történő bevágás során a gyors zsugorodás miatt repedések jöhetnek létre.
- Utókezelés hibái
 - az elégtelen és későn megkezdett utókezelés repedéseket és felületi mikró-repedéseket okozhatnak.
- Munkahelyi hiányosságok
 - a legnagyobb probléma a munkaterület huzat-mentesítése, mivel a nagy padlófelületek gyors felületi kiszáradása, zsugorodása repedéseket okozhatnak,
 - téliesítésnél a +5° C feletti hőmérséklet hiánya.

8. Hivatkozások

- [1] Építésügyi Műszaki Irányelv (5/2020. (V.11) ÉPMI), „Ipari padlók tervezési és kivitelezési szabályai,” Budapest, 5/2020.
- [2] DIN 15185-1:1991-08, *Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen; Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen*, (Warehousesystems with guided industrial trucks; requirements on the ground, the warehouse and other requirements), 1991.
- [3] *TR34 (Technical Report 34) 4th Edition 2014.*
- [4] *VDMA - Richtlinie Böden für den Einsatz von Schmalgang-Flurförderzeugen - Padlókövetelmények szűkfolyosós targoncák alkalmazásakor*, September 2010.
- [5] Építészmérnöki Kar Épületszerkezeti Tanszék, *Ipari padlók jegyzet*, BME: Budapest, 2010.
- [6] *EJC-1_Specsheet_DE_2022-04 – EJC1 típuslap.*
- [7] *EJC-2-2019_Specsheet_DE_2022-04 – EJC2 típuslap.*
- [8] *ETM-V-2-SNG-2021_Specsheet_DE_2022-04 – ETM-V-2 típuslap.*
- [9] *ETM-V-3-SNG-2013_Specsheet_DE_2022-04– ETM-V-2 típuslap.*
- [10] *EFG-2-2021_Specsheet_DE_2022-04 – EFG2 típuslap.*
- [11] *EFG-3-2021_Specsheet_DE_2022-04– EFG3 típuslap.*
- [12] *4_Specsheet_DE_2022-04 – EKX típuslap.*
- [13] *EKX-5_Salesmaterial_DE Technische-Daten-EKX-514-516-10-2015-CE_[EPIM-198733] (1) – Jungheinrich belső anyag.*
- [14] *Az üzemen belüli logisztika alapja. Állványrendszerek és raktári berendezések – Jungheinrich prospektus (5598.HU.02.2017).*
- [15] *FEM 9.931 – 1 10.3.01 – 1, Basis for calculations for storage and retrieval machines – Tolerances, deformations and clearances in the storage system.*
- [16] *DIN 18202:2013-04, Toleranzen im Hochbau - Bauwerke*, (Tolerances in building construction - Buildings), 2013.
- [17] *Technical Report 34, Concrete Industrial Ground Floors – Fourth Edition, A Guide to Design and Construction*, The Concrete Society, August, 2013.
- [18] *6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.*

- [19] e-Ut 06.02.13.:2022 Útügyi Műszaki Előírás, *Kötőanyag hozzáadással készülő talajkezelések*, Budapest, 2022.
- [20] J. Szendefy, Z. Bán, K. Lődör és W. S. Mustafa, „Az üveghab-granulátum útépitésben való alkalmazásának vizsgálata,” *Útügyi Lapok*, V. 8, No. 14., 2020.
- [21] J. Szendefy, *A hazai talajjok szerkezetének és teherbírásának változása meszes talajstabilizáció hatására, PhD disszertáció*, Budapest: 2009.
- [22] e-Ut 06.02.11:2022 Útügyi Műszaki Előírás, *Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai*, Budapest, 2022.
- [23] MSZ 2509-3, *Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata. Tárcsás vizsgálat*, 1989.
- [24] e-Ut 2-2.124:2005, *Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel*, Budapest, 2005.
- [25] A. Török, *Ágyazási együttható modellezése és a számítása az altalaviszonyok és az ágyazat függvényében ipari padlók tervezésénél, diplomamunka*, Budapest, 2011.
- [26] E. Winkler, *Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*, Prague: Verlag, p. 182., 1867.
- [27] H. M. Westergaard, „On the Design of Slabs on Elastic Foundation with Special Reference to Stresses in Concrete Pavements,” *Ingenioren*, V. 12, Copenhagen, 1923.
- [28] H. M. Westergaard, „Theory of Stresses in Road Slabs,” in *Proceedings, 4th Annual Meeting, Highway Research Board*, Washington DC., 1925.
- [29] H. M. Westergaard, „Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis,” *Public Roads*, V. 7., No. 2., 1926.
- [30] G. Lohnmeyer és K. Ebeling, *Ipari betonpadlók építése. Csarnokok és térburkolatok*, Budapest: Építésügyi Tájékoztatási Központ, 2001.
- [31] T. Agárdi, *Magasraktár alapozási rendszerének optimalizálása, diplomamunka*, 2022.
- [32] V. Józsa, „Ritkán vizsgált talajjellemzők hatása befogott támszerkezeteknél,” in *Geotechnika Konferencia*, 2010.
- [33] *Plaxis Connect Edition V21.01 (2021.03.04) Material Models Manual*.
- [34] G. Kriston, *Ipari padlók vizsgálata 3D vége-selelemes programmal, diplomamunka*, 2016.
- [35] K. Juhász, P. Schaul és L. Nagy, „Ipari padlók méretezése 2. rész – Irányelvek áttekintése, speciális méretezési kérdések,” *Beton Újság*, XXV. évfolyam, IV. szám, 2017. augusztus.
- [36] ACI, 2010, ACI 360R-10, „Guide to Design of Slabs-on-Ground,” American Concrete Institute, Committee 360, April 2010.
- [37] ÖVBB, 2008, *Faserbeton Richtlinie (Szálerősítésű beton irányelv)*, Österreichische Bautechnik Vereinigung, Wien 7/2008..

- [38] G. Lohnmeyer és K. Ebeling, „Betonpadlók gyártó- és raktárcsarnokban,” Publikál Kft., Budapest, 2008.
- [39] DBV, 2017, „Merkblatt Industrieböden aus Beton, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein,” Berlin, Februar 2017.
- [40] Eurocode 2, 2016, MSZ EN 1992-1-1:2004/A1:2016, „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”.
- [41] „MSZ EN 196-(1-21), 2016, Cementvizsgáló módszerek, ICS 91.100.10 Cement. Gipsz. Mész. Habarcs, Műszaki Bizottság, MSZT/MB 102 - Cement és mész, April 2016”.
- [42] G. Winter, L. C. Urquhart, C. E. O'Rourke és A. H. Nilson, Design of Concrete Structures, Seventh Edition, McGraw-Hill Book Co.: New York, 1964.
- [43] PCA, 1984, *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*, Portland Cement Association Engineering Bulletin EB109.01P: Skokie, IL, 47 pp..
- [44] WRI, 2008, WWR-500, *Manual of Standard Practice-Structural Welded Wire, Eighth Edition*, Hartford, CT.: Wire Reinforcement Institute.
- [45] COE, 1977, Engineering and Design, *Rigid Pavements for Roads, Streets, Walks and Open Storage Areas*, Washington DC.: Department of Defense, TM-5-822-6, U.S. Government Printing Office,, 1977 .
- [46] ASTM, 2018, *ASTM C845/C845M - Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement*, ASTM International, 07/01/2018.
- [47] fib, 1999, Szálerősítésű Betonok - a kutatástól az alkalmazásig -. A fib Magyar Tagozata által rendezett konferencia kiadványa. Budapest, 1999. március 4.-5.
- [48] fib, 2012, *Model Code 2010, Volume 1-2*, fib Bulletin No. 65-66, 350 pp, ISBN 978-2-88394-105-2, March 2012.
- [49] ACI, 2018, *ACI 544.4R-18: Guide for Design with Fiber-Reinforced Concrete*, ACI Committee 544.
- [50] ACI, 2002, *ACI 544.1R-96, Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI Committee 544, p. 66, ISBN: 9780870315282, 2002.
- [51] EN, 2004, EN 13877-3:2004, *Concrete pavements - Part 3: Specifications for dowels to be used in concrete pavements*, ICS: 93.080.20 - Road construction materials, Technical Committee: CEN/TC 227 - Road materials, Drafting Committee: CEN/TC 227/WG 3 - Materials for concrete roads including joint fillers and sealants.
- [52] G. Meyerhof, „Load carrying capacity of concrete pavements,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, June 1962.
- [53] M. Hetényi, *Beams on elastic foundation (Ninth Printing)*, University of Michigan Press: 1971.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1.	NÉMETH András, MILÁVECH Richárd	Iparban használatos vízminőségek
2.	DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István	Mérések a gáziparban
3.	DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTÓ Zoltán, DR. BALLA József	A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4.	BORBÁS Lajos Dr.	Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5.	BERENCSI Miklós, BERECHY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFY Krisztina	Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6.	TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András	A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7.	DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András	Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8.	KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó	A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9.	BLAZSOVSZKY László	A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10.	CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter	Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11.	NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSE Dániel Géza	A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és utügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12.	DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta	Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13.	DR. SZILÁGYI Zsombor	Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14.	S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté	Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15.	DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÜRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin	Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16.	DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor	Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet

17.	TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila	Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18.	FENYVESI Zsolt	Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása
19.	GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20.	DR. DIVÓS Ferenc	Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21.	DR. KARÁCSONYI Zsolt	Faanyagok tartós szilárdsága
22.	BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula	Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23.	ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András	Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24.	JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső	Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25.	DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László	Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26.	DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos	Korszerű támszerkezetek tervezése
27.	HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán	Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II.
28.	KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint	Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz	Hőteljesítménymérési tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30.	GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr.	A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31.	LADÁNYI Gábor Dr.	Diagnosztika a karbantartásban
32.	MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András	KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

2019.

33.	BLAZSOVSZKY László	Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34.	DR. SZILÁGYI Zsombor	A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35.	FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj.	Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36.	VARRÓ Beáta, DR. KIS András	Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37.	MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György	Munkatér határoló szerkezetek

38.	KORSÓS András, RÁDULY Zsolt	A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39.	GERGELY Edit, DR. BEZEGH András	Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40.	DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit	Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)
41.	GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence	Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42.	FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert	Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43.	DR. KARÁCSONYI Zsolt	Faanyagok tartós szilárdsága Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44.	DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin	Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45.	PRIMUSZ Péter, PhD.	Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46.	NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért	Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III. Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47.	JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László	Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48.	DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert	Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49.	JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit	Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50.	DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel	Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51.	DR. MÓGA István	Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52.	DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe) I. kötet: Konceptió és modell II. kötet: Modell illesztése III. kötet: Tudástár
53.	VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila	Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.
2020.		
54.	DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor	JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére

55.	DR. SZILÁGYI Zsombor	A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56.	VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám	A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57.	KÁDI Ottó	A gyalogosközlekedés közúti keresztezései
58.	MOLNÁR Szabolcs	„Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei
59.	VÁRDAI Attila	Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60.	DR. BEJÓ László	Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban
61.	JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső	Szakmai útmutató vízellátási-művelési tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához
62.	FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József	Munkagödörök és földművek víztelenítése
63.	HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor	Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához
64.	DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	Az Informatikai Tervező tervezési segédlete
65.	NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza	Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén
66.	LENGYEL István	Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)
67.	NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért	Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis
68.	FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely	Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)
69.	DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán	Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására
2021.		
70.	BLAZSOVSZKY László	A gázipar és a kéményseprő-ipar határterületeinek szabályozási anomáliái a szakmagyakorlók és a felhasználók szemszögéből
71.	FORGÁCS Lajos Dr., NAGY Gábor, RÉV Zoltán	Kórháztervezés új szempontjai a 21. században - Korszerű kórházak infrastrukturális egységei

72. HOLÉCZY Ernő, KISS Albert Miklós, KOVÁCS István, Dr. TAKÁCS Bence Géza, Dr. TÓTH Zoltán M.2.-2021. Mérnökgeodéziai tervezési segédlet
73. Dr. BEJÓ László Az ipar 4.0 alkalmazási lehetőségei a faipar területén
74. BORBÉLY Dániel, HUDACSEK Péter, KARNER Balázs, KOVÁCS László, SÁNDOR Csaba Monitoring, a geotechnikai kockázatkezelés eszköze
75. FELFÖLDI Krisztina, JÁMBOR András, TÓTH Sándor, BÜKI Gábor, GÓDOR Balázs Emelőgépek időszakos vizsgálatának eljárásrendje
76. GYURKOVICS Zoltán, RÉBAY Lajos, NAGY Bernát Szakmai útmutató az épületgépész felelős műszaki vezetők és műszaki ellenőrök számára
77. Dr. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel, PAPP Ábrahám Hulladék hő hasznosítás - hűtés és fűtés összekapcsolása Segédlet az elemzéshez és gyakorlati példák bemutatása
78. CZINE Ferenc, HIRKÓ György Elektromos meghajtású mikromobilitási eszközök - Jellemző paraméterek
79. KALMÁR Tamás, dr. LÁNYI Péter, HÓZ Erzsébet Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és úthasználók tapasztalatai alapján
80. VARGA Tamás, FARKAS Péter János, Dr. TOKODY Dániel, ZSARNOVSZKI Attila, MÉSZÁROS Tamás, VERESS Árpád Építményvillamossági tervezés robbanásveszélyes környezetben
81. Dr. VONA Márton, Dr. BALATONYI László, TÉCSŐY István Dombvidéki víz visszatartás, kisvízfolyások szabályozása természet közeli megoldásokkal Kisléptékű vízvisszatartás, kistelepülés-léptékű vízmegtartó megoldások
82. ZANATHY Valéria, BUZÁS Györgyi, TÓTH László Acélszerkezetek korrózió elleni védelme - Acélszerkezetek korrózió elleni védelmére vonatkozó szabványok, előírások, szakami tapasztalatok összefoglalása
83. JÓZSA Bálint, DOHÁNY Máté DDI avagy a fordított gyémánt csomópontok vizsgálata és magyarországi alkalmazhatósága
84. SZÉPSZÓ Gabriella, ALLAGA-ZSEBEHÁZI Gabriella, LAKATOS Mónika, SZENTES Olivér, TAKSZ Lilla, SELMECZI János Pál, Dr. CZIRA Tamás, CSÓKA Gergely, BAKA György Éghajlatvédelmi vizsgálatok módszertana és az azt megalapozó adatbázisok alkalmazása
85. ZSIGMONDI András, MARIÁN Gábor, WÉBER László A műszaki egyenértékűség és helyettesítő termék egyenértékűségének megállapítási módjai
86. NAGY János, HORVÁTH Rita, KAPITOR György, MERTLI Ferenc, PAPP Ábrahám, SITKU György, Dr. ZSEBIK Albin Világítástechnika - segédlet az EKR dokumentáció készítéséhez - Alapismeretek és mintapéldák
87. CSENDES János, VELLER Tamás Épületautomatika - Összefüggésben az Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszerrel

