Vasúti betonaljas és betonlemezes felépítményszerkezetek

Railway Ballasted and Ballastless Superstructures

Suprastructuri de căi ferate cu traverse și plăci de beton

KÖLLŐ Szabolcs Attila, Dr. KÖLLŐ Gábor

Kolozsvári Műszaki Egyetem,
Memorandumului utca 28-as szám, 400114 Kolozsvár
tel.:+40 264 401 200, fax. +4 0264 592 055, http://www.utcluj.ro/

ABSTRACT

According to the ballast type, railway track structures can be divided into two main categories. Although the ballasted tracks performed well over the years and thanks to the modernizations, this system is still widely used worldwide, but due to the increased loads in the recent decades, incurred the need to change this track system. Mainly the increase of speed and axle load has forced the railway construction engineers to try finding other solutions in this topic. These challanges in the conventional ballasted track system gave birth to ballastless railway track system, which can ensure very good geometrical stability of the track compared to the ballasted track. This has eliminated the worst characteristics of ballasted track systems, the permanent and uneven deformations due to the loads that lead to the gradual deterioration of the track geometry.

Keywords: ballasted track, ballastless superstructre, concrete sleeper, pre-tensioning, axle load.

ÖSSZEFOGLALÓ

A vasúti pályaszerkezet kialakításánál nagyon fontos kérdés a felépítmény szerkezetének meghatározása, amely közvetlen hatással van az alépítmény (a teherviselő rétegrendszer) megtervezésére.

Természetesen ennek a kérdésnek a megválaszolásában a legfontosabb szempont a vasút üzemvitele, amely a vasút fejlődésével, a közlekedő vontok sebességének és terhelésének növelését igényli.

A forgalmi igénybevételek növekedése volt az a pont, amely arra ösztönözte a vasútépítő mérnököket, hogy kezdjék el egy alternatív módszer kidolgozását, annak érdekében, hogy a hagyományos keresztaljas felépítményeket helyettesíthessék a nagysebességű vasutak igényeit kielégítő pályaszerkezetekkel. Így jelentek meg az ágyazatnélküli felépítményrendszerek, amelyek jelentős szerepet töltenek be a városi vasutak életében is és alkalmazásuk sok esetben nélkülözhetetlen. Viszont a zúzottkőágyazatos felépítményszerkezetekre továbbra is nagyon fontos szerep hárul, és mivel a világ vasútvonalain ez a legelterjedtebb pályaszerkezeti típust ezért továbbra is foglalkozni kell ezzel a szerkezettel és korszerűsíteni a megnövekedett járműterheléseknek és igénybevételeknek megfelelően.

Kulcsszavak: zúzottkő ágyazat, ágyazatnélküli felépítményrendszer, betonalj, előfeszítés, tengelyterhelés.

1. BEVEZETÉS

A vasúti felépítményeket az ágyazat típusa szerint két kategóriába sorolhatjuk:

A) Zúzottkő ágyazatos felépítmény

B) Merevlemezes (zúzottkő ágyazat nélküli) felépítmény

A zúzottkőágyazatú, keresztaljas felépítményszerkezetek a legelterjedtebbek világ szinten. Azonban az utóbbi évtizedekben a megnövekedett igénybevételeknek köszönhetően, több alkalommal is felmerült e pályaszerkezet megváltoztatásának az igénye. Főleg a sebesség növekedése, a vontasűrűség és az így adódó fenntartási munkák egymásutánisága és tarthatatlan ritmusa kényszerítette gyors lépésre a vasútépítő mérnököket [1, 2].

Így jelentek meg a merevlemezes pályaszerkezetek, amelyek lényege, hogy a pályalemez biztosítja a vágányok vízszintes és függőleges megtámasztását, illetve biztosítja a sínek szilárd rögzítését, megakadályozva, hogy a pályaszerkezet elmozduljon a közlekedő járművek hatására.

Ezzel a lépéssel sikerült kiküszöbölni a zúzottkő ágyazatos felépítményrendszerek legkedvezőtlenebb tulajdonságát, a térben és időben egyaránt jelentkező, terhelések hatására bekövetkező egyenlőtlen mértékű és maradandó alakváltozásokat, amelyek a pályageometria fokozatos romlásához vezetnek [2].

A felépítmény függvényében a pályaszerkezeteket a következőképpen csoportosíthatjuk:

A) Zúzottkő ágyazatos felépítmény:

– Keresztaljas pályaszerkezet (1.1. ábra);
– Magánaljas pályaszerkezet (1.2. ábra);
– Hosszaljas pályaszerkezet (1.3. ábra);
– Rácsos (vegyesaljas) szerkezet (1.4. ábra);

1.1. ábra*: Keresztaljas pályaszerkezet*

1.2. ábra*: Magánaljas pályaszerkezet*

1.3. ábra*: Hosszaljas pályaszerkezet*

1.4. ábra*: Rácsos pályaszerkezet*

B) Merevlemezes (zúzottkő ágyazat nélküli) felépítmény:

- *Pontszerű (diszkrét) alátámasztás (1.5. ábra):*
- Keresztaljas pályaszerkezet
- Keresztalj nélküli pályaszerkezet
- *Folyamatos sínalátámasztás (1.6. ábra):*
- Kiöntött síncsatornás rendszer;
- Elemekkel megtámasztott sínszál RAFS

1.5. ábra: *Pontszerű alátámasztás*

1.6. ábra: *Folyamatos alátámasztás*

2. ÁGYAZATOS FELÉPÍTMÉNYSZERKEZETEK

Napjainkban is, a felépítményszerkezetek alaptípusa a zúzottkő ágyazaton fekvő keresztalj maradt, amely a járműteher áthaladásakor keltett dinamikus terheléseket az ágyazatra vezeti.

Az ágyazat legfontosabb szerepe abban nyilvánul meg, hogy a vasúti pályán, a járműteher hatására megjelenő terheléseket az aljakról az alépítményekre továbbítsa, és elnyelje a dinamikus terhelésekből adódó energiát.

Ugyanakkor fontos szerepe van a pályageometria, a vágányok függőleges és vízszintes geometriájának megfelelő biztosításában, illetve abban, hogy a forgalomsűrűség és egyéb külső hatások következtében megjelenő hibákat stabil, állandó vágányszabályozási munkákkal könnyen, pontosan lehessen kijavítani [1, 2].

A legelterjedtebben használt zúzottkő ágyazatos, keresztaljas vágány előnyei között említhetjük a következőket:

- kedvező teherelosztás,
- jó nyomtávtartás, síndőlés biztosítás,
- kedvező keretmerevség,
- a vágány teherbírása az aljak sűrítésével nő,
- a vágányfektetési és a szabályozási munkák könnyen elvégezhetők és gépesíthetők,
- a vízelvezetés jól megoldható.

Azonban az éles törésű, poliéderes alakú zúzottkőből álló ágyazatok nagy hátránya az elaprózódás és elszennyeződés folyamata.

Az elaprózódás folyamata az üzemi terhelés közben megjelenő ütésszerű erők hatására, vagy az alávérési munkák során a kalapácsok lesüllyesztésekor a szemcsék roncsolódásával kezdődik el, míg a hézagtérfogatok feltöltődését ágyazatidegen anyagokkal, azaz az elszennyeződést, a szél hordta anyagok, növényi maradványok, esetleg a szállítójárművekből pályatestre lehulló anyagok ágyazatba jutása, illetve az alépítményből az ágyazatba felnyomódó finomszemcsék (nem megfelelő alépítményi védőréteg esetén) indíthatják el.

Ha a fent említett két negatív jellegű folyamat során megjelenő töltőanyag olyan mennyiségben van jelen, hogy nem csupán „úszik” az anyagszemcsék között, hanem részt vesz a teherviselésben, a zúzottkő ágya-

zat tulajdonságai megváltoznak, szimulációs kísérletek szerint az ágyazat tulajdonságai akár 50–70% -al romlanak, amely közvetlen kihatással van a pályageometriára és a közlekedési feltételekre [1, 2, 3].

2.1. Vasúti betonaljak

A vasúti pályák felépítményszerkezetéhez tartozó aljak szerepe a nyomtávolság biztosításában, a sínek alátámasztásában, azok eldőlésének biztosításában illetve a vágányt érő hossz- és keresztirányú erők egyenletes elosztásában nyilvánul meg.

Az alátámasztás jellege szerint megkülönböztetünk:

– Egy blokkos, „monoblokk” betonaljakat, amelyek napjainkban feszített eljárással készülnek. A sínszálak alátámasztását egyetlen, merev betonblokk biztosítja, amelyek középső szakaszán nagy hajlítónyomatékok ébrednek terhelések hatására.

2.1. ábra. *Egy blokkos aljak*

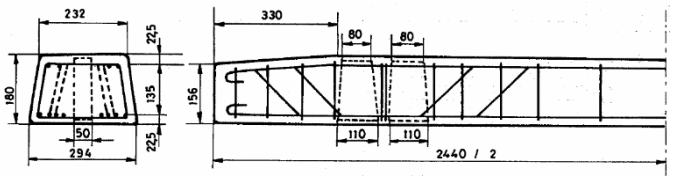
– Két blokkos, „bi blokk” betonaljakat, amelyek kizárólag lágyvasalással készülnek. A sínszálakat egy-egy betonalj támasztja alá, amelyeket hajlítónyomatékok felvételére alkalmatlan, kevésbé merev acélrúd kapcsol össze. Az aljakban terheléskor megjelenő hajlítónyomatékok viszonylag csekélyek, viszont a stabilitását nem tudják olyan szinten biztosítani, mint az egy blokkos rendszerek.

2.2. ábra. *Két blokkos aljak (Ikeraljak)*

A betonaljak a vasalás típusa szerint lehetnek:

a. Lágyvasbetétes aljak,
b. Előfeszített aljak,
c. Utófeszített aljak.

Kezdetben a vasúti betonaljakat lágyvasalással gyártották. Ez a folyamat a második világháború végéig tartott, ugyanis a feszítési eljárások megjelenéséig nagyobb előrelépés nem történt a betonaljak korszerűsítésében.



2.3. ábra. *U jelű vasbetonalj, (lágyvasalással) [4]*

A feszítési eljárások megjelenése egy új fejezet kezdetét jelentette a vasbeton ipar területén, így a betonaljak gyártása és felhasználása is új lendületet vett.

A feszítés adta lehetőségekkel különösképpen jelentkeztek a betonaljak előnyei:

– sikerült csökkenteni a lágyvasas betonaljakra jellemző repedésérzékenységet, azonban nem sikerült teljesen kiküszöbölni ezt a problémát, ami a mai napig fejtörést okoz a szakemberek számára;
– megnőtt az aljak teherbírása;
– élettartamuk 50 évre becsülhető;
– a betonaljak tömege legalább kétszerese a faaljak tömegének, és jóval meghaladja a vasaljak tömegét is, ezáltal a vágányoknak nagy stabilitást ad, mely a hegesztett pályaszakaszok esetén elengedhetetlen. Ennek hatása a pályafenntartási munkák során mutatkozik meg leginkább, hogy a vágány kevésbé mozdul el, így kevesebbet kell szabályozni;
– a nagy oldalfelületek segítik a vágány oldalirányú stabilitását [1, 3, 4].

A feszített eljárásokat alkalmazó monoblokk betonaljak esetében jelenleg az európai színvonalat a német B70-es betonalj testesíti meg, amelyet világszinten széles körökben alkalmaznak.

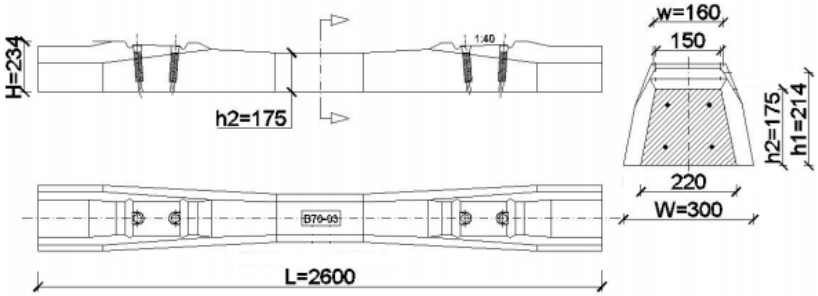
A német vasutak jelenleg használt szabványos betonalja a B 70-es, amely két féle változatban is készül elő- és utófeszített formában. A betonaljak alakja a legyezőhöz hasonlít.

Az alj legyező alakjának köszönhetően, a felfekvési felület közel szimmetrikus a sín alatti keresztmetszetre, így a betonalj középső részének keresztmetszetében ébredő negatív nyomatékok kisebbek, mint a más típusú betonaljak esetében.

A betonaljakat a következő vasalási változatokkal gyártják:

– 8db 6,9 mm-es St 1375/1570 minőségű feszítőhuzal, végein gombozással és lehorgonyzó lemezzel – véglehorgonyzással;
– 4 db Ø9,7 mm-es St 1375/1570 minőségű sima feszítőhuzal, utófeszítéses eljárással
– 4 db Ø10 mm-es St1420/1570 minőségű rovátkolt feszítőhuzallal tapadó betétes lehorgonyzással
– 4db Ø12 mm-es St 885/1080 minőségű rovátkolt huzallal.

Az utóbbi időben megfogalmazódott a B 75-ös típusú betonalj bevezetésének a lehetősége, amely főleg geometriájában hozna változásokat az elődjéhez képest, de ez még csak bevezetés alatt áll [1, 4].



2.4. ábra: *B 70 típusú német betonalj [4]*

2.1. táblázat: A B 70-es betonaljak műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	250 kN
Max. sebesség	230 km/h
Tömeg	282 kg ± 5%
Ágyazattal érintkező felület	6801 cm2
Nyomtáv	1435 mm
Síndőlés	1:40
Sín típusa	UIC60
Lekötőszer típusa	SKL14 / E-clip

Romániában a német B 70-es betonalj geometriai sajátosságait figyelembe véve gyártják a T17-es nagy +96-teherbírású betonaljat, amelynek jellemzőit a 2.2-es táblázat mutatja be.

2.2. táblázat: T17 típusú román betonalj műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	250 kN
Max. sebesség	200 km/h
Tömeg	300 kg
Hossz (L)	2600 mm
Szélesség (W)	300 mm
Magasság (H)	241 mm
Magasság a sínek felfekvési helyén (h_1)	217 mm
Magasság az alj közepén (h_2)	182 mm
Ágyazattal érintkező felület	6800 cm^2
Nyomtáv	1435 mm
Betontípus	C 50/60
Betontérfogat	119 l

Magyarországon jelenleg az LW típusú nagysebességű pályákra tervezett betonalj a legelterjedtebb, amely geometriai adottságaiból adódóan sokkal robusztusabb a széles körben elterjedt „karcsúbb” aljakhoz képest.

2.3. táblázat: LW típusú magyar betonalj műszaki adatai [4]

Tengelyterhelés	225 kN
Max. sebesség	200 km/h
Tömeg	296 kg
Hossz (L)	2500 mm
Szélesség (W)	300 mm
Magasság (H)	232 mm
Magasság a sínek felfekvési helyén (h_1)	214 mm
Magasság az alj közepén (h_2)	175 mm
Ágyazattal érintkező felület	7019 cm^2
Nyomtáv	1435 mm
Betontípus	C 45/55
Betontérfogat	120.5 l

2.2. Vasúti betonaljak méretezése és vizsgálata

A vasúti felépítményszerkezetek feladata a járműrendszer vezetésében, illetve az áthaladó vasúti járművek által közvetített függőleges, vízszintes és keresztirányú terhelések átvételében és továbbításában nyilvánul meg.

A felépítményszerkezetek legmeghatározóbb eleme, a keresztaljas vágányszerkezetek esetén a vasúti keresztaljak, amelyek a sínleerősítéseken keresztül átveszik a sínektől a terhelést és továbbítják az ágyazatnak.

A vasúti keresztaljak méretezése során figyelembe kell venni a pályaszerkezet egyéb alkotó elemeinek is a sajátosságait. A tervezésnél különösen kell figyelni a következőkre [5, 6]:

- A sín, a betonalj, az ágyazat és az alépítmény sajátos tulajdonságaira;
- A fent felsorolt elemek gyártási, fenntartási, beépítési lehetőségeire, illetve a minőségi feltételekre;
- A vasúti közlekedés intenzitására, az áthaladó járműrendszerek által továbbított terhelésekre;
- A környezeti hatások ara;
- A fenntartási, karbantartási munkálatok rendszerességére;

A keresztaljas felépítményszámítási módszer a Zimmermann–féle számítási eljárást követi, amely kiinduló feltételként figyelembe veszi az ágyazat rugalmasságának hatását [5, 6].

$$p=Cy \tag{1}$$

A keresztaljat a két sín talpáról átadódó Q erők terhelik, amelyekkel a keresztalj alatt ébredő ágyazatreakciók tartanak egyensúlyt.

$$Q = \frac{P_s k}{2L}(1 + ts) \tag{2}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4(E_r I_r + E_t I_0)}{b_0 C}} \tag{3}$$

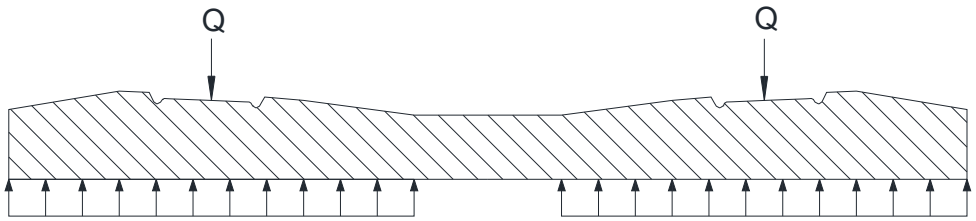
Az elvégzett kísérletek alapján igazolták, hogy a keresztaljak igénybevételének meghatározásánál a p=Cy rugalmassági feltételezés nem ad a valóságnak megfelelő eredményt, mivel a C ágyazási tényező értéke a keresztalj hosszában változó [1].

A keresztaljak igénybevételeinek számítása a sínnyomás értékéből vezethető le. Viszont már ez az érték is közelítéseken és feltételezéseken alapszik, amelyet még csak fokoz a keresztalj és az ágyazat közötti kapcsolat elméleti lemodellezése. Megfigyelhető, hogy számos olyan tényező jelenik meg a számítási modellekben amelyek figyelembe vétele csak megközelítésekkel lehetséges. Ezeket a megközelítéseket az elvégzett mérések során összesített eredmények alapján vezetik be és azt szolgálják, hogy lefedjék mindazokat a lehetséges állapotokat, amelyek a pályaszerkezet műszaki élettartama alatt megjelenhetnek.

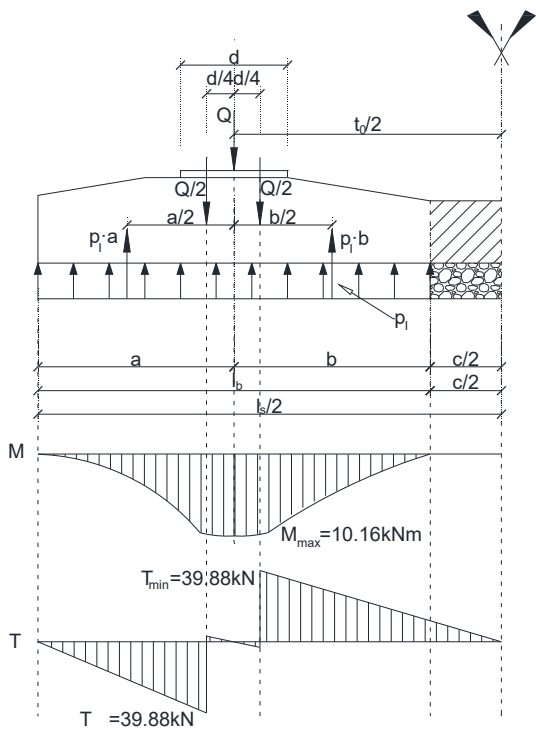
A vasúti keresztaljak méretezése során az aljak sín alatti, illetve középső keresztmetszetében megjelenő igénybevételek vizsgálata kiemelt fontosságú, mivel ezekben a keresztmetszetekben megjelenő nyomatékok és nyírási igénybevételek teljes mértékben meghatározzák a merev tartóként kezelt vasúti keresztaljak viselkedését.

Az ágyazati nyomás keresztaljak alatti eloszlása függvényében két alapesetet kell vizsgálni [5, 7]:

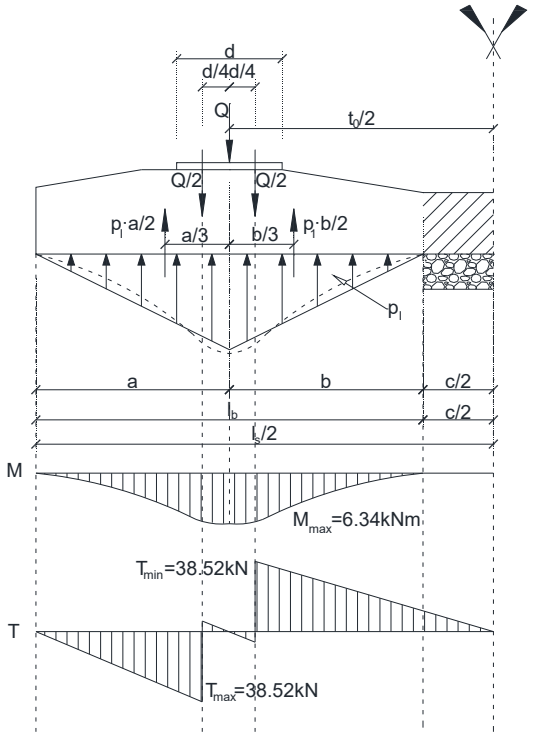
A) Az ágyazatreakciók az aljak két szélső részén (a sínleerősítések alatti terhelési felületeken), a blokkok alatt oszlanak meg;



2.5. ábra: *Ágyazatreakciók eloszlása új építésű pályák esetén [5]*



2.6. ábra: *Ágyazatreakciók állandóak [5]*

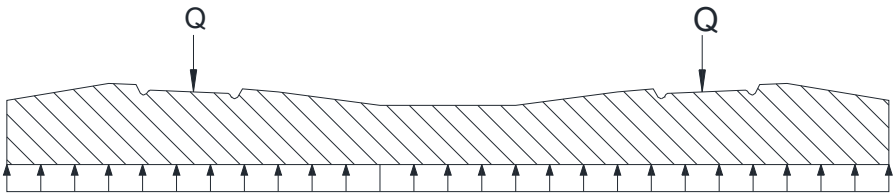


2.7. ábra: *Ágyazatreakciók lineárisan oszlanak el [5]*

Az ágyazatreakció megoszlásának alakját harang alakúnak feltételezik az alapozásnál használt modell alapján. Az itt megjelenő igénybevételeket az állandó és lineárisan változó ágyazatreakció eloszlás esetén ébredő mértékadó igénybevételek átlagaként számolják

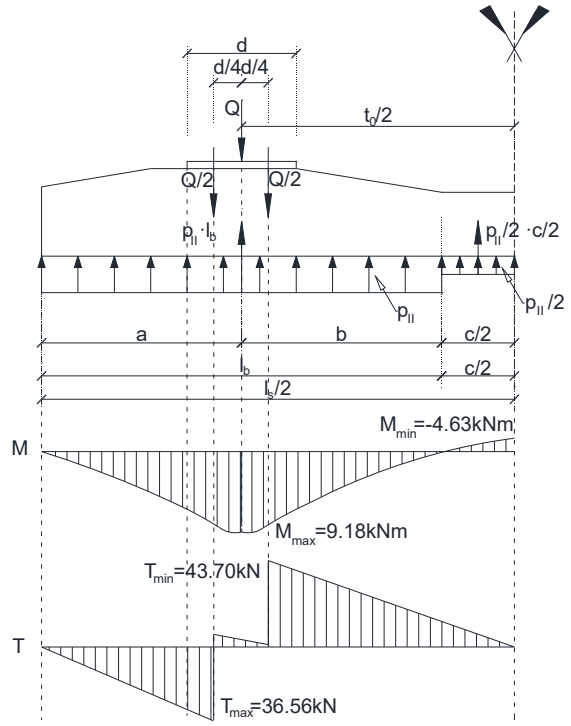
$$M_{max}^{harang} = \frac{M_{max}^{állandó} + M_{max}^{lineáris}}{2} \tag{4}$$

B) Az ágyazatreakciók az aljak teljes hosszában hatnak;

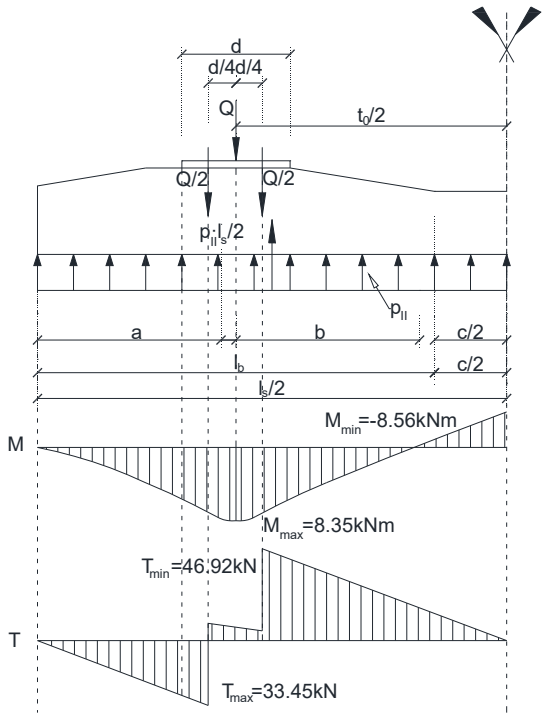


2.8. ábra: *Ágyazatreakciók eloszlása üzemi állapot idején [5]*

Ha az ágyazati nyomás az aljak teljes hosszára kiterjed, két esetet kell figyelembe venni. Ezek az állapotok az aljak részleges vagy teljes „fellovagolását" jelentik, és a középső keresztmetszetekre nézve a legkedvezőtlenebb, negatív nyomatékok jelennek meg. A részleges felfekvés esetén az alj középső felfekvési hosszán az ágyazati nyomás a blokkok alatt megjelenő nyomás értékének fele, míg teljes felfekvés esetén az ágyazati nyomás állandó az alj teljes hosszán [5, 6].



2.9. ábra:
Az alj részleges felfekvése üzemi állapot idején [5]



2.10. ábra:
Az alj teljes felfekvése üzemi állapot idején [5]

A vizsgálati eljárások fontos feltételként szerepelnek a vasbeton aljak tervezésének folyamatában. A vizsgálatok döntik el, hogy a megadott geometriával, anyagminőséggel és vasalási feltételekkel rendelkező betonlaj megfelel-e a vasúttársaság illetve a szabvány által meghatározott feltételeknek, vagy új geometriai kialakítást, vasalást kell alkalmazni, esetleg a használt anyagok minőségét is cserélni kell

A vasúti betonaljak vizsgálata az elemek méretéhez képest összetett feladatnak bizonyul, főleg úgy, hogy nagymértékben kell figyelni a fenntarthatósági tényezőkre is, és figyelembe kell venni a pályaszerkezet egyéb alkotó elemeinek is a sajátosságait.

A keresztaljak életciklusát befolyásoló egyik legmeghatározóbb tényező a zúzottkőágyazat állapota.

1. A vasbeton aljakat három különböző üzemi állapotban javasolt vizsgálni:
   - Új, jó minőségű ágyazat esetén;
   - Átlagos minőségű ágyazat esetén;
   - Rossz minőségű ágyazat esetén.

A pályában fekvő betonaljakban megjelenő igénybevételek nagymértékben eltérhetnek egymástól. Mivel a számítási és tervezési eljárások sok feltételezést vesznek figyelembe, ezért nagyon fontosak a laboratóriumi vizsgálatok. Az aljak életciklusa során egy nagyon fontos kérdés, hogy melyik az az állapot, amikor az aljak nem alkalmasak az üzemi körülmények fenntartására, és szükséges azok cseréje. Illetve szorosan kapcsolódik ehhez a kérdéskörhöz a fenntarthatóság megállapítása [8].

2.11. ábra. *A vasúti betonaljak laboratóriumi vizsgálata [8]*

2. A laboratóriumi vizsgálatok elsősorban ezekre a kérdésekre adják meg a választ.
3. Az európai szabvány (EN 13230-2-2) és a vasúttársaságok által előírt vizsgálatok a terhelés jellege szerint három csoportba oszthatók [8, 9 ,10]:
   – statikus,
   – dinamikus és
   – fárasztó vizsgálat.

3. AZ ÁGYAZAT NÉLKÜLI (MEREVLEMEZES) FELÉPÍTMÉNYSZERKEZET

A vasúti közlekedés fejlődésével az ágyazattal kapcsolatban egyre gyakrabban merültek fel az ágyazatellenállás, az anyagminőség, az alakváltozások, a pálya – jármű dinamikus kölcsönhatása, a szennyeződés kérdései, és amint az előző részben is látható, mai napig fejtörést okoznak a vasútépítő mérnököknek ezek a kérdések, így egy alternatív megoldást az ágyazat nélküli (merevlemezes) felépítményszerkezetek bevezetése jelentett, amelyek számos előnyös tulajdonsággal bírnak a hagyományos, ágyazatos pályaszerkezetekkel szemben:

– A hagyományos kialakítású vágányokhoz képest kedvezőbb vonalvezetés alakítható ki, ugyanazon tervezési sebesség esetén, és a síneket alacsonyabb hőmérsékleten is le lehet fektetni;
– A fekszint, irány és túlemelés jellemzők változásmentesen megvalósíthatóak, ez a vágányszabályozási munkák elmaradását illetve a pálya és a járművek kopásainak csökkenését eredményezi;
– Kisebb a szerkezeti önsúly és magasság;
– Nagyobb oldalellenállást biztosít a vágánynak, így magasabb az üzembiztonság, mivel a dinamikus igénybevételekből, illetve a hőmérsékleti hatásokból származó oldalirányú erők felvétele íves szakaszokon is megfelelő mértékű;
– Kedvezőbb feszültségviszonyokat teremt az alépítményben, a feszültségeloszlás egyenletesebb, a feszültségcsúcsok is elmaradnak;
– A növényzet nem képes átnőni, nem kell tartani a szennyeződés folyamatától, így az ezekre fordított pályafenntartási költségek elmaradnak;
– A szerkezet üzemi élettartama 50–60 év körül van, ami jóval meghaladja a zúzottkőágyazatok 30–40 éves élettartamát;
– A kedvező állékonyságnak köszönhetően nagyobb az utazási komfort az egyenletes járműfutások miatt;
– Lehetővé teszi az örvényáramú fékek használatát a rövidebb fékezési távolság biztosítása érdekében, a vágány stabilitásának veszélyeztetése nélkül;
– Lehetséges a zúzottköves felépítményre meghatározott 150 mm-es értéknél jóval nagyobb (180-200 mm) túlemelés kialakítása is, ami kisebb sugarú körívek építését eredményezi.

Viszont szerkezetükből adódóan ezeknek a pályaszerkezeteknek is vannak hátrányaik a hagyományos zúzottkő ágyazatú pályaszerkezetekhez képest:

– Kivitelezés szempontjából nagyobb az időigénye és költségesebb, illetve nagyon pontos kivitelezési munkát igényel, ugyanis az esetleges hibák kijavítása utólag hatalmas költségekkel járhatnak, esetenként a szerkezeti elemek teljes cseréjét teszik szükségessé;
– Bár a várható üzemi élettartamát 50–60 évre becsülik, ez a kivitelezési előírások pontos betartását igényli, illetve, hogy ne érjék a szerkezetet olyan váratlan hatások, amelyek nehezen kijavítható károkat okozhatnak (pl.: kisiklás), ugyanis ezek ugyancsak a szerkezeti elemek teljes cseréjét, és hosszabb idejű pályalezárásokat igényelnek;
– A pályageometria jellemzőinek (fekszint, irány, felfekvés, stb.) szabályozási lehetőségei vízszintes és függőleges irányban sokkal korlátozottabbak, mint a hagyományos felépítmény szerkezetek esetén, ezért nagyon kell figyelni az alépítményeknél jelentkező talajsüllyedésekre;
– Földrengéses vagy gyenge talajjal rendelkező övezetekben nem javasolt ezeknek a szerkezeteknek a használata;
– Rezgés- és zajcsillapítás megoldása (5dB);
– Átmeneti szakaszokat kell kialakítani a merevlemezes és hagyományos pálya találkozásánál.

Először a földalatti vasutaknál vált szükségszerűvé egy alternatív módszer megalkotása a zúzottkő ágyazat helyettesítésére. Ennek oka, hogy az alagutakban a zúzottkő ágyazat kedvezőtlen tulajdonságai fokozottabban jelentkeztek.

A városi vasutaknál szerzett tapasztalatokat felhasználva, több vasúttársaság is felismerte a merevlemezes pályaszerkezetek lehetőségének alkalmazását a nagyvasutak esetén is, elsősorban a nagysebességű vasutak körében bizonyultak előnyösnek.

Jelenleg is tart világszerte a merevlemezes pályaszerkezeteknek a korszerűsítése, egyre több és speciálisabb igényt kielégítve. Amint a fentiekben is látható, két fő típusuk van: a pontszerű (diszkrét) sínalátámasztást biztosító- és a folyamatos sínalátámasztást biztosító rendszerek [1, 2, 3].

3.1. A Rheda–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

A Német Szövetségi Vasutak (DB) szakemberei az 1970-es években kezdték el az ágyazatnélküli felépítményszerkezetek intenzív fejlesztéssorozatát, amelynek egyik, világszinten is legelterjetteb típusa a Rheda–rendszer.

Ennek a típusnak egyik kedvező tulajdonsága, hogy hosszú ideje használatban vannak, így rengeteg kísérlet és tapasztalat áll a szakemberek rendelkezésére, hogy a legszigorúbb elvárásoknak is megfeleljenek. Így az idők folyamán több típusa is megjelent, különféle elvárásoknak megfelelve.

Ennek is köszönhető, hogy jelenleg világviszonylatban a legelterjedtebb rendszernek számít, 400km Németországban, 150 km Hollandiában, 52 km Tajvanon, 56 km Spanyolországban, 40 km kísérleti szakasz formájában Kínában, 22 km Görögországban.

Az első Rheda–rendszer (Rheda Classic) 1972-ben volt lefektetve Németország, Bielefeld–Hamm vasútvonal, Rheda–Wiedenbruck vasútállomásának átmenő vágányába, és napjainkban is használatban van.

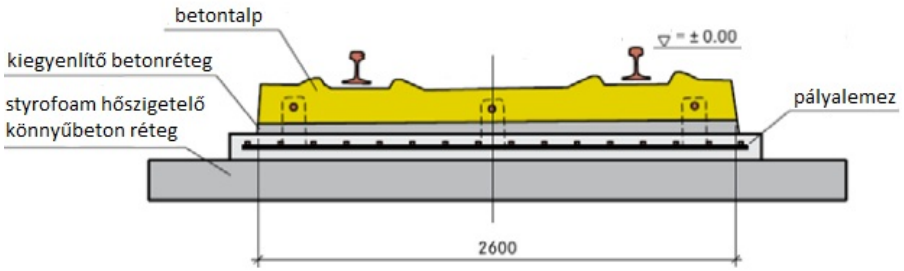
A síneket B 70 jelű, 0,60m kiosztással fektetett, feszített betonaljakra kötötték le. A pályaszerkezet teherhordó lemeze egy 0,14m vastag, legalább C30/35-ös minőségű betonlemez, hossz- és keresztirányú lágyvasalással, amely az ívben az emelést is megadó helyszíni betonra került. Az építés során a teherhordó pályalemezre helyezett betonaljakat a kiszabályozás után kiékelik, ezután történik a keresztaljak alatti hézag és a keresztalj közötti tér kibetonozása. A betonaljak, a közöttük lévő kitöltőbeton és a vasbeton alaplemez együttdolgozását az alaplemezből kinyúló acélfüleken, valamint a betonaljakon átfűzött 3db. huzal biztosította. (3.1. ábra)

Az alaplemez alatt 0,20m vastag Styrofoam hőszigetelő könnyűbeton réteget és 0,15m vastag cementes stabilizációt építettek be. Rugalmas leerősítést, a síntalpak alatt elhelyezett közbetétek biztosították. A pályaszerkezet hosszanti mozgását a két végén, az altalajba alapozott ellenfalak akadályozták meg [1, 2, 3].

3.1. ábra: *Az első, 1972-ben lefektetett Rheda–rendszer [2]*

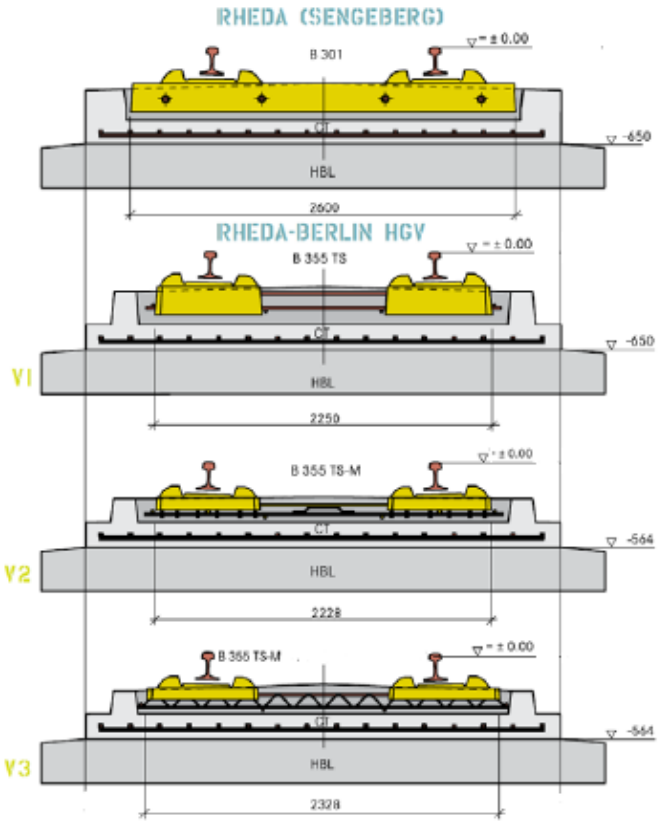
A rendszer megalkotói a következő alapelveket követték:

- A hajlításra igénybe vett pályalemezek a terhelést egyenletesen osszák el;
- A sínek rugalmasan legyenek alátámasztva;
- 50 mm-ig lehetséges legyen a magassági korrekció;
- Az nyílt szakaszokon, hidakon és alagutakban használt szerkezeti megoldások azonosak legyenek az átmeneti szakaszok kiküszöbölése érdekében.



3.2. ábra*: Rheda (Classic) 1972 [2]*

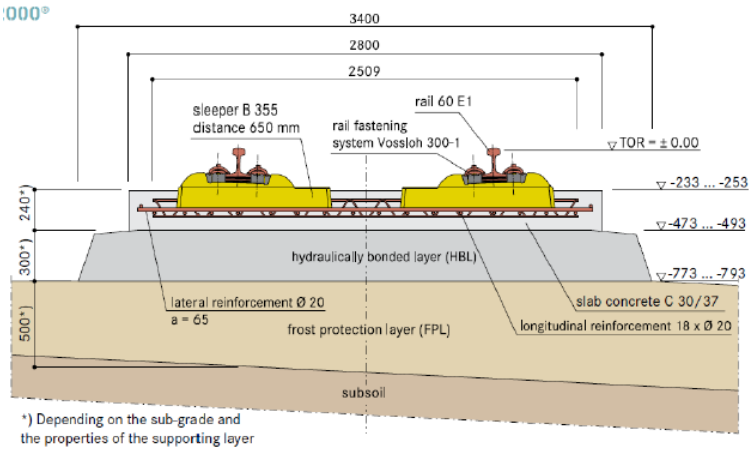
Az első igazán nagy változás az alapréteg szerkezeti összetételében következett be, amely egy 30-35 cm hidraulikusan kötött teherhordó réteget és egy 20-25cm vastag fagyvédőréteget foglalt magába. Az alapréteg szerkezeti felépítése megmaradt napjainkig ebben a formában, viszont a felépítmény szerkezete több változáson is átesett, amint ez a következő ábrán megfigyelhető [1, 2, 3].



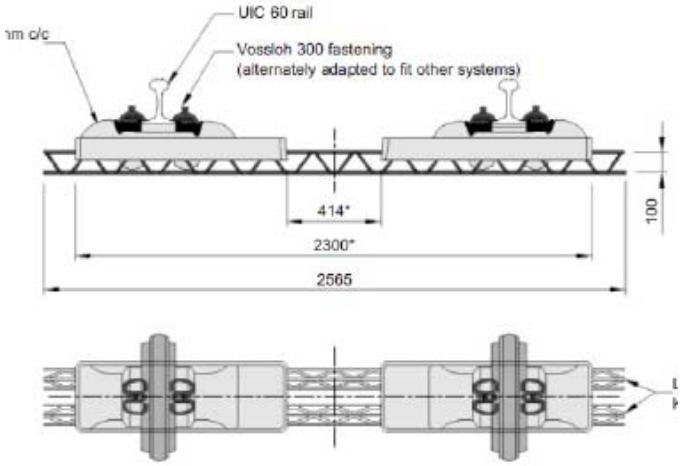
3.3. ábra: *A Rheda–rendszer fejlődése [2]*

Jelenleg a rendszer legfejlettebb típusa a Rheda 2000, amely a ábrán látható. Ez a rendszer nagyon rugalmasnak bizonyul a különböző tervezési feltételek teljesítésében. Főbb jellemzői:

- A B 355 W60M SBS típusú kétblokkos aljak egy rácsos szerkezetű, acél kereszttartóval vannak merevítve;
- Az aljak a szerkezet monolit, teherviselő alaplemezére beágyazva fekszenek fel;
- A jobb teherleszotást az alépítményre illetve a rezgéscsillapítást és ezáltal a jobb utazási komfort biztosítását a rugalmas, Vossloh 300 típusú sínleerősítések biztosítják.



3.4. ábra: *A Rheda 2000 rendszer [2]*



3.5.ábra. A Rheda 2000 rendszernél használt B 355 W60M kétblokkos aljak [2]

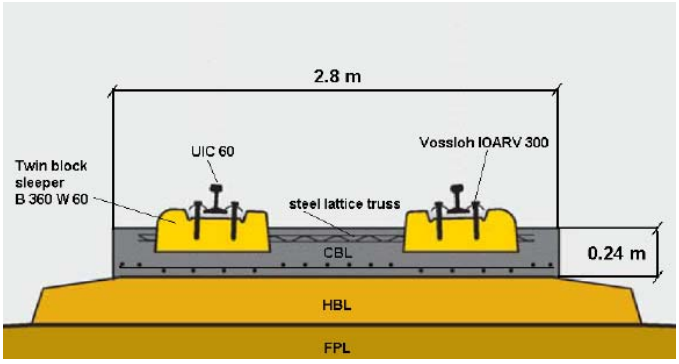
3.2. Züblin–rendszererű ágyazatnélküli felépítmény

Ennek a rendszernek a fejlesztése szintén az 1970 – es évek elején kezdődött Németországban, amelynek legfőbb célja, hogy gyorsítsa a kivitelezési és összeszerelési munkákat célgépek segítségével, és ezzel csökkentse a költségeket.

A betonaljakat fektetőgéppel, egyesével, 65cm-es kiosztással, pontos fektetés mellett vibrálják be a betonlemezre (20–28 cm vastag és 2,8m széles) elterített friss betonba, miután az kellően megkeményedett.

A lemez egy 30 cm vastag, hidraulikusan kötött teherhordó rétegere fekszik fel amely alatt egy 50 cm vastag fagyvédőréteg található.

A 3.6. ábrán látható a legújabb Züblin–rendszerű pályaszerkezet, amelyet 2005-ben Kínában, 460 km-es kétvágányú, gyorsvasúti pálya építésénél használtak.



3.6.ábra. *Züblin–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény [2]*

3.3. FFC–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

A monolit vasbetonlemezes szerkezetek csoportjába sorolható ez a felépítményrendszer.

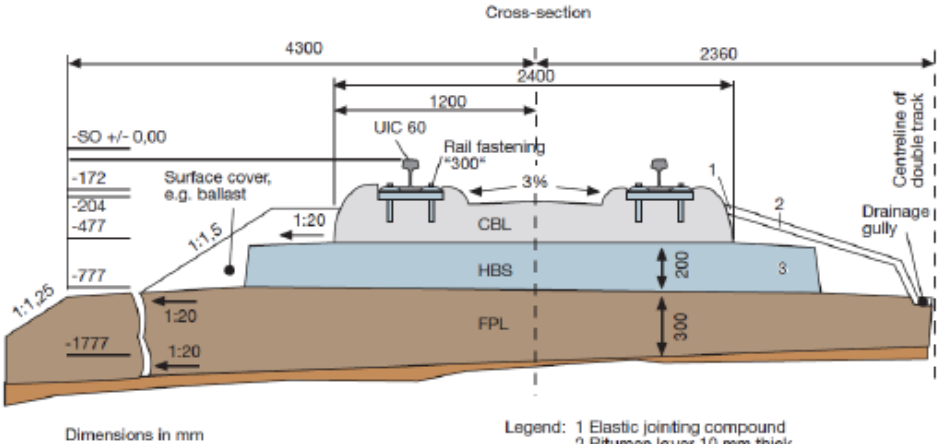
A helyszínen kiöntött teherviselő lemezre, fektetik le a síneket, nem használva betonaljakat, ezáltal csökken a szerkezet önsúlya és magassága, így jól alkalmazható hidak és alagutak esetén.

Ugyanakkor terhelés alatt úgy viselkedik, mint egy folytonosan alátámasztott gerenda, amely kivitelezési módjának köszönhetően elég rugalmas ahhoz, hogy gyenge, mélytalajok esetén is alkalmazható legyen, hiszen a terheléseket egyenletesen, nagy terhelési felületekre leosztva továbbítja. Azonban nem javasolt alkalmazásuk a földrengéses övezetekben.

A alépítmény rétegződése a megszokott módon egy fagyvédőréteget illetve egy hidraulikusan kötött teherviselő réteget foglal magába, amelyre jön egy 6 cm vastagságú bitumines kavicsréteg, majd erre fekszik fel a 30–35 cm vastag monolit vasbetonlemez, amelyet nagy pontossággal, gépesítve öntenek ki.

A sínek rögzítéséhez szükséges leszorítólemezeket vagy a frissen öntött betonba vibrálják be, vagy pedig a már megkötött betonlemez felületére erősítik csavarok segítségével. Ezután következik a sínek lefektetése a többnyire rugalmas sínleszorító elemek segítségével.

A monolit vasbetonlemez szélessége 2,4 m, hosszanti irányban pedig 3 m-enként hagynak bevágásokat a lemezben, biztosítva a víz lefolyását a lemez felületéről. A monolit vasbetonszerkezeteknél különösen nagy figyelmet kell fordítani a repedések megjelenésére 1, 2, 3].



3.7.ábra. *FFC–rendszerű felépítményrendszer [2]*

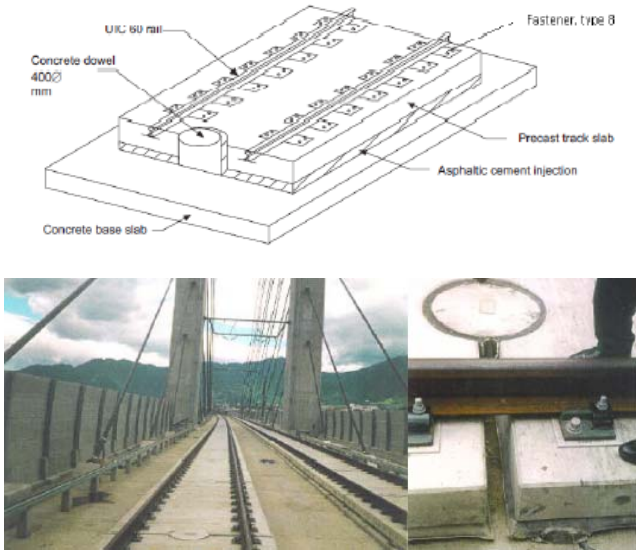
3.4. Shinkansen–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

A japán vasutak felismerve, hogy a nagysebességű vonalszakaszokon a rendkívüli nagy igénybevételek következtében a hagyományos zúzottkőágyazatos vágányrendszerek fenntartása sokkal több időt igényelne, mint amit a vasúti forgalom sűrűsége lehetővé tesz, így, már 1955-ben elkezdte az ágyazatnélküli felépítmény-rendszerek fejlesztését.

1970-ben összesen 16 km hosszú kísérleti pálya létesült, főleg műtárgyakon. Az eredmények alapján a rendszernek két típusa terjedt el Japán szerte, amelyeket napjainkban is használnak:

A) Injektált ágyazású, előregyártott betonlemezes felépítmény

Az alépítményre, amelyet a fagyvédőréteg és a hidraulikus kötésű teherviselő réteg alkot, beton alaplemez épül, meghatározott felső szinttel. Erre kerül rá az 5,00 x 2,34 x 0,16 m méretű előregyártott vasbeton pályalemez. Az alaplemez és a pályalemez közé 40 mm vastag bitumenes–cementes habarcsot injektálnak, amely nagy pontosságot igényel, ez biztosítja a vágány pontos és tartós fekszintjét. A pályalemezek stabilitását a 0,25 m magas és 0,40 m átmérőjű, az alaplemezből felfelé kinyúló betoncsapok adják.



3.8. ábra. *Injektált ágyazású, előregyártott betonlemezes Shinkansen–rendszer [2]*

B) Rugalams ágyazású, keresztaljas pályaszerkezet

A Shinkansen hálózatának városkörnyéki szakaszaira kedvezőbb rezgés- és zajcsillapítás céljából a pályalemezes pályaszerkezeteket rugalmas ágyazású, keresztaljas pályaszerkezetekkel helyetesítették.

A rezgés- és zajelnyelés feladatát egyrészt a 7,50 m hosszú, előregyártott betonlemezekbe bebetonozott, 500 kg tömegű, poliuretán sapkával ellátott feszített betonaljak látják el, másrészt pedig a bebetonozott betontalpak közé, a betonágyazat felszínére elhelyezett zúzottkő réteg.

3.5. Edilon–rendszerű ágyazatnélküli felépítmény

Az Edilon rendszer fejlesztése 1970-en kezdődött el Hollandiában, és az első teszteket 1976-ban végezték Deurne mellett. A fejlesztések legfőbb célja a zaj- és rezgéscsökkentés volt.

Az Edilon–rendszer és az ehhez hasonló felépítménytípusok (Infundo, BBERS) folyamatos, rugalmas sínalátámasztást biztosítanak, ahol a sínszálak kiöntőanyaggal vannak megtámasztva.

Az Edilon termékek alkalmazása meghatározott feltételek mellett történhet. Ezek a feltételek: a környezet és a beton vagy acél síncsatorna hőmérséklete, a levegő páratartalma, harmatpont, a síncsatorna nedvességtartalma, a síncsatorna tisztasága. Nem megfelelő időjárási körülmények esetén fóliatakarást kell alkalmazni, illetve fűtött sátor alatt kell a kiöntést végezni.

A síncsatorna alját és falait homokszórással elő kell készíteni. A csatorna falának érdesnek, tisztának és száraznak kell lennie. Felületén nem lehet szennyeződés, szemét, olaj, zsír vagy víz.

A gumicsíkokok leragasztása után a síncsatornában 1,5 – 2,0 m-enként elhelyezik az alátétlemezeket és a sín dőlését biztosító ékeket, amelyekkel a függőleges beállítás történik.

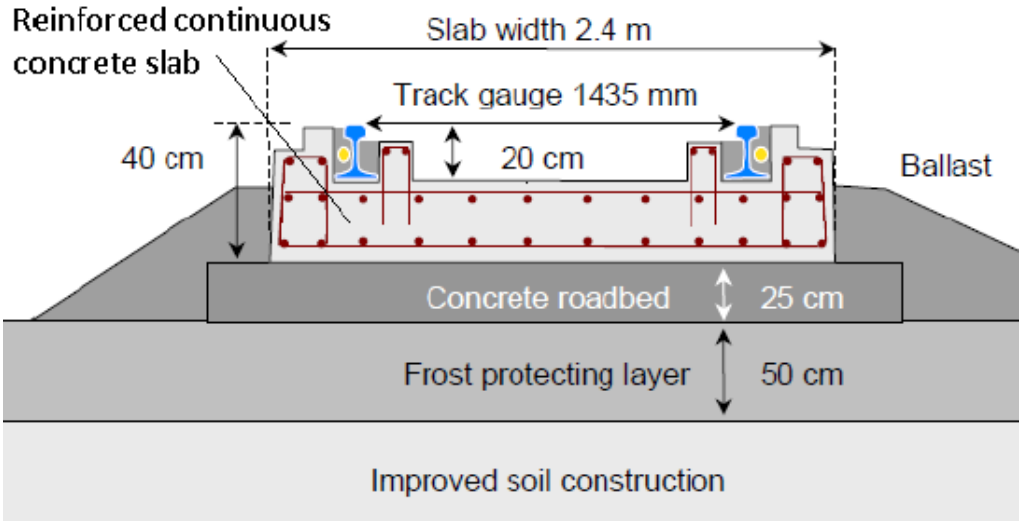
Ezután következik a sín beemelése a síncsatornába, majd pedig a sín vízszintes irányú beállítása a PVC-csövekre erősített bilincsek és a Corkelast kontra ékek segítségével.

Végezetül pedig az Edilon Corkelast kétkomponensű kiöntőanyag beöntése a síncsatornába. A kiöntéshez az Edilon cég speciális gépet szerkesztett. A kiöntőanyag összetevői arányának változtatásával különböző ágyazási rugalmasságot tudnak kialakítani.

A alépítményre felfekvő betonlemez 40 cm vastag, 240 cm széles és fugák nélkül a helyszínen alakítják ki, csúszózsalus módszerrel. A lemez mindkét irányban vasalt. A reá hulló vizek adott távolságban a vágánytengelybe beépített elnyelőkkel vezetik el. A síncsatornába elhelyezett sínt ±5 mm mértékben lehet irányra és fekvésre szabályozni [1, 2, 3].

A megoldás előnyei:

- egyszerű szerkezet, hosszú élettartam;
- vágányszabályozási munkák elmaradása, a sínkopás intenzitása csökken;
- rugalmas, folytonos sínalátámasztás;
- jó rezgés és zajcsillapítás;
- jó villamos szigetelő hatás;
- a pálya néhány óra elteltével átadható a forgalomnak.



3.9. ábra. *Az Edilon–rendszerű felépítményszerkezet [2]*

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti közlekedés fejlődésével megnőtt az igény a nagysebességű vonatok iránt, ugyanakkor a vasúti teherszállítás is egyes országokban újabb fejezetbe lépett, nagyobb műszaki követelményeknek kitéve a felépítményszerkezeteket.

Ezzel párhuzamosan szemléletváltás történt a felépítményszerkezetek megítélését tekintve, ugyanis kezdetben a építési szempontokat tekintették irányadónak a biztonság mellett, a pályafenntartási munkákat háttérbe utasítva, míg az utóbbi időben a szerkezetek teljes műszaki élettartamát vizsgálják gazdasági, biztonsági és környezetvédelmi feltételeket figyelembe véve.

A gazdaságosság feltétele építési és fenntartási költségek együttes alakulását foglalja magába, ami azt jelenti, hogy a vasúttársaságok vállalják akár a magasabb építési költségeket is, ha aztán az üzemi évek alatt , jelentősen csökkenő fenntartási költségekkel tud egy gazdaságosabb szerkezetet építeni.

A biztonsági szempontok tekintetében a pálya mellett a járműveknek és a közlekedést segítő rendszernek is fontos szerep jut. De a különböző területeken végzett fejlesztéseknek köszönhetően a felépítményszerkezetek szempontjából nincsenek nagy különbségek egészen addig, amíg nem a gyorsvasutak támasztotta követelményeknek kell megfelelni, mert a hagyományos felépítmények itt jelentős hátrányba kerülnek, mivel jóval rövidebb ideig tudják biztosítani a szükséges műszaki követelményeket, ezzel pedig gazdaságosság szempontjából is hátrányba kerülnek.

A harmadik feltétel pedig a környezetvédelemhez kapcsolódik.

Mára már világossá vált, hogy a vasúti közlekedés képes a leghatékonyabb környezetkímélő módon működni.

A vasútnak több környezeti előnye is ismert a helyigény, az energiafelhasználás és a CO_2 kibocsátás területén.

Ami viszont megoldásra vár, a rezgés- és zajterhelések csökkentése. A felépítményszerkezetekre itt is fontos szerep hárul. A merevlemezes felépítményszerkezetek ebben a témakörben kezdetben nagy hátrányban voltak a hagyományos szerkezetekhez képest, viszont a sínleerősítéseken végzett korszerűsítéseknek köszönhetően, ma már nagyon jó rezgés- és zajelnyelő szerkezetek alkottak. Jó példa erre Hollandia és az Edilon–rendszer, amely szép sikereket ért el ebben a tekintetben, de lehetne említeni több Nyugati–európai országot, vagy éppen Japánt, ahol lassan törvények szabályozzák a megengedett zajhatásokat.

A leírtakból jól kivehető, hogy a felépítményrendszerek megválasztásánál több szempontot is vizsgálni kell, és ez közvetlen hatással van a pályaszerkezet egyéb elemeinek a megválasztására is, mint sínlekötések, sínszálak típusa.

Látható, hogy a zúzottkő ágyazatú vágányok megtartják az alkalmazási területüket az ágyazatnélküli felépítmények biztosította előnyök ellenére is, de valószínű, hogy ennek a pályaszerkezetnek a kizárólagossága megszűnik, és körvonalazódnak azok a határok, amelyeken belül egyik vagy másik típusú felépítményrendszer alkalmazása hatékonyabb és kedvezőbb.

HIVATKOZÁSOK

[1] Mezei István, id. Dr. Horváth Ferenc, Pál József, Vasútépítés és pályafenntartás I kötet, Magyar Államvasutak Rt., Budapest, 1999

[4] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, Vasúti betonaljak, Műszaki Szemle, 64. szám, 2014, ISSN 1454-0746;

[3] Szabolcs Attila Köllő, Attila Puskás, Gábor Köllő, Ballasted track versus ballastless track, International Conference on Innovative Research, 2015. május 14-15., Jászvásár

[2] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, Vasúti pályaszerkezetek, Műszaki Szemle, 66.szám, 2015., Erdélyi Magyar Műszaki Társaság, ISSN 1454-0746;

[5] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, A vasúti betonaljak méretezése, XX. Nemezetközi Építéstudományi Konferencia, ÉPKO 2016. június 1-5., Csíkszereda;

[6] Szabolcs A. Köllő, Gavril Köllő, Attila Puskás, *The optimization of railway concrete sleepers for increasing the durability and sustainability,* Second International Conference on Concrete Sustainability, 13 – 15 June, Madrid, Spain;

[7] Szabolcs Attila Köllő , Attila Puskás, Gavril Köllő, *Influence of the maintenace work and support conditions on the optimization process of railway concrete sleepers*, The 10th International Conference, Interdisciplinarity in Engineearing, 6-7. október 2016., Marosvásárhely;

[8] Köllő Szabolcs Attila, Dr. Köllő Gábor, A vasúti betonaljak vizsgálata, XXI. Nemezetközi Építéstudományi Konferencia, ÉPKO 2017. június 8-11., Csíkszereda;

[9] *EN 13230-1*, Vasúti alkalmazások. Vágány. Beton sín- és váltóaljzat;

[10] *EN 13230-2*, Vasúti alkalmazások. Vágány. Beton sín- és váltóaljzat;