

Egy kevésbé közismert építőanyag: A „pykrete” gyakorlati felhasználása

TIBÁD Gergely¹, VAIDA Zoltán², VEKOV Imre³

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, wadigi666@yahoo.com

²Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, vaida.zoltan@gmail.com

³Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, wimrew@gmail.com



Tartalom

A dolgozat nyomon követi a pykreteként ismert összetett anyagnak a történetét, valamint a tulajdonságainak a tesztelését. Kísérleteket folytattunk úgy az eredeti recepttel, mint annak módosított változataival. A hangsúly a tesztelési folyamatok részletezésén van, melyek pontos adatokkal szolgáltak az anyag tulajdonságairól. Ezen tulajdonságok alapján elemezhetjük az anyag mindennapi, építőanyagként való használatát. Ezek alapján tanulmányozhatjuk ugyanakkor az anyag által okozott környezetszennyezést, valamint az általa felhasznált újrahasznosított anyag jótékony hatását

Történelmi háttér

A Pykrete egy kompozit anyag, ami körülbelül 14% fűrészporból vagy más fajta facellulózsból (pl. papír) és 86% vízből áll (a százalékok természetesen az anyagok tömegére vonatkoznak). Használatát a második világháborúban javasolták először a Brit Haditengerészetnek. A Pykrete több érdekes tulajdonsággal is rendelkezik, közülük kiemelendő a viszonylag lassú olvadási idő (a csökkent hővezetőképesség miatt), valamint a mechanikai ellenállás, amely terén közel áll akár a betonhoz is.

A pykrete történelmi háttere egészen a második világháborúig nyúlik vissza. A légi hadviselés alapvető megkötése volt az a tény, hogy a repülők csak korlátozott hatótávolságon belül tudtak szolgálatot teljesíteni, a nehézkes üzemanyagellátás miatt. A Szövetségesek repülőgép-anyahajókat vetettek be ezen probléma leküzdésére. Ezen hajók viszont nehézségük mellett többszörösen is ki voltak téve a német tengeralattjárók támadásainak. A

probléma megoldását szolgálta volna egy elsőre irreálisnak ható ötlet, hatalmas jégből épült hajók gyártása.

Az ötletgazda Geoffrey Pyke volt. Ő volt az aki meggyőzte Lord Louis Mountbattent az elképzelés megvalósíthatóságáról, és aki kidolgozta az elméleti alapokat amelyek elősegítették a kivitelezést. Az elképzelés szerint hatalmas jégtömbökkel erősítették volna meg a hajókat amelyek hathatós védelmet nyújtottak volna a torpedó és egyéb támadások ellen. A jégtömbök között csövekben negatív hőmérsékletű gázt kell átvezetni, hogy a tenger hőmérsékletét kompenzálja és a hajók ne olvadjanak el.

Az elképzelés jelentős sikert aratott Winston Churchill akkori angol miniszterelnöknél is akinek hathatós közbenjárására Kanadában el is kezdődtek a megvalósíthatósági kísérletek. 1942-ben Kanadában a Patricia tavon épült meg egy 18 méter hosszú 1000 tonnás hajó egy hónap leforgása alatt. A struktúra egy fából készült keret volt, amit a tóból vett jéggel töltöttek meg. A szerkezetet leszigetelték és beépítettek 3 darab 10 lóerős, freonos légsűrítőt. A hideg levegőt egy 6 galvanizált vascsőből álló hálózaton keresztül terjesztették. Az ötlet elvetése után (a jelentős katonai sikerek következtében veszített fontosságából) több mint egy nyárba tellett amíg a magára hagyott struktúra elolvadt.

Az ötlet tökéletesítője egy bizonyos Mark Herman egykoron Bécsben tanító kémia professzor volt. Az ő munkássága világított rá arra, hogy amennyiben a vízhez fűrészport, vattát vagy más cellulóz alapú rostot kevernek és megfagyasztják, a jég tulajdonságaitól jelentősen különböző anyagot nyernek. Rájött, hogy a jég tiszta állapotban törékeny, de megedzhető, erősíthető rostok hozzáadásával Amennyiben ez az adalékanyag a fűrészpor, úgy az anyagot „pykrete”-nek nevezik, ezáltal is adózva az ötlet első felvetőjének.

Ezen kompozit anyagokkal a kísérletezés Smithfielden kezdődött el. Itt hoztak létre egy titkos laboratóriumot a megerősített jég gyártására és tesztelésére. Elrendelték az elektromosan fűtött ruhák viselését, olyanokét mint amilyeneket a pilóták viselnek, hogy -18°C -on is dolgozhassanak. Építettek egy nagy légszűrőt ami a vizes facellulózt megfagyasztotta, s amit ezután fűrésszel tömbökbe vágtak. A tesztek igazolták, hogy a pykrete jóval erősebb a tiszta jégnél és nem morzsolódik, viszont meghajlik a saját tömege alatt -15°C fölötti hőmérsékleten.

A kecsegtető teszteredmények ellenére a kutatás nem folytatódott, illetve a már ismert eredmények sem kerültek a nyilvánosság elé. Az anyagi problémák illetve a harci helyzet alakulása megállította egy olyan anyag fejlődését és kiismerését, amely részben megváltoztathatta volna a huszadik század közepi hadviselés képét.

A kísérlet

Ötlet és problémafelvetés

Napjainkban egyre nagyobb fontosságot nyernek az úgynevezett “jég-építmények”, vagyis olyan épületstruktúrák amelyeket fagyponthoz alatti hőmérsékleten alkalmaznak, és általában csak ideiglenesen. Ezek az építmények részben vagy teljes egészben jégből állnak, helyenként megerősítve acéllal, vagy egyéb a jég tulajdonságait elősegítő anyaggal. Ezek az anyagok több célt is szolgálnak. Megnövelik a különböző szilárdságokat (nyomószilárdság, szakítószilárdság), valamint jótékonyan befolyásolják az anyag olvadási sebességét. A fentiekben megismerkedhettünk egy nem közismert jég alapú anyaggal, a pykrete történetével, s eddigi felhasználásával. Amit a nyilvános forrásokból nem ismerhettünk meg, azok a tényleges értékek, a valós számok amelyek jellemzik az anyagot és amely alapján hosszútávú következtetéseket lehet levonni az anyag teljesítményével kapcsolatban. Projektünkben megpróbáltuk az eredeti

anyagot behatóan tanulmányozni építőmérnöki szempontokból, valamint receptváltoztatással jobb eredményekre jutni. Igyekeztünk valamelyest párhuzamot vonni a betonnal, természetesen csak szilárdsági szinten. A kísérletek gördülékeny lefolyása érdekében betonöntésnél is használt öntőformákat használtunk, betonra jellemző mechanikai kísérleteket végeztünk és munkánk során a beton jellegzetes számértékeihez hasonlítottuk eredményeinket.

Dolgozatunk gyakorlati célja azt vizsgálni, hogy a pykrete vagy ennek módosított változatai megállnák-e a helyüket mint építőanyagok. Természetesen nem komoly építkezéseknél való felhasználásra gondolunk, viszont téli szezonális építményeknél, esetleg olyan környéken ahol a hőmérséklet nem emelkedik fagyponthoz közel a pykrete gyakorlati felhasználást nyerhet. Ezért igyekeztünk úgy tekinteni munkánkra mint egy potenciális építőanyag feltérképezésére, amely hátrányai dacára mégis főleg az alacsony előállítási költség következtében előnyös lehet.

E munkának a folyamatait fogjuk bemutatni az alábbiakban.

Recept

Az előállítás során négy különböző receptet használtunk fel, adagolás és az alapanyagok módosítása szerint. A mintáink vízből illetve fűrészporból vagy papírból álltak. Gyakorlatilag az alapanyagok arányainak módosításával változik az diszperz megerősítés, a sűrűség, valamint a különböző tulajdonságok. A diszperz megerősítésnél fontos befolyásoló tényező az erősítés hossza. A rövid részecskék (fűrészpor) nem merevítenek annyira, az anyag plasztikusabb marad, gyorsabban változtatja formáját erők hatására. A hosszú cellulóz alapú rostok jelentősen növelik az anyag kohézióját, egységes megerősítésként viselkednek. Természetesen az adalékoknak nem csak megerősítési szerepük van. Ugy a fűrészpor mint a papír jobb hőszigetelők mint a jég, ezért megfigyelhető egy igen jelentős sebességkülönbség a minták olvadása során.

Fűrészpor receptek

A fűrészpor adagolásától függően két receptet teszteltünk. Annak függvényében, hogy egy 2800 cm³ térfogatú minta előállításához 250 vagy 125 gramm fűrészport használtunk fel nevezzük a továbbiakban „feles” vagy „egészes” receptnek. Az egészes recept gyakorlatilag egy áztatott fűrészpor, maximális fűrészpor összetevővel. A feles recept, mint neve is mutatja tömegre feleannyi fűrészport használ, viszont ezáltal a szegregáció hangsúlyozottabb, nem nyerünk teljesen homogén mintát.

Papír receptek

Papír alapanyagként újságot használtunk fel. A különböző fokú sűrítés elérésére az egyik recept áztatott és kissé összegyűrt papírcsíkokból állt. A másik a formák méretére vágott, áztatott, összehajtogatott papírlapokból állt. A méretre vágott változat elkészítése nagyon időigényes, kivitelezése szinte csak tesztelési érdekességgént indokolt.

Formák és előállítás

A kísérletezés során három öntöttvas öntőformát használtunk fel. Két identikus kockát, 14.1 cm-es oldallal, ez 2803.221 cm³-nyi térfogatot jelent. Valamint egy prizmat 55x10x10 cm-es méretekkkel, 5500 cm³ térfogattal. A kísérlet gondtalan lefolyása érdekében szükséges volt továbbá a formák részleges szigetelésére. A formákat betonöntésre és nem a víz megtartására tervezték, ezért az oldalakat közönséges gyurmával szigeteltük, így megakadályozva a víz elszívargását. A formákat a kísérletezés során belülről gépolajjal kentük meg azért, hogy a kizsaluzás problémamentes legyen.

Az előállítás egy állandó -17°C fokos hőmérsékletű hűtőben történt. Minden minta 48 órán keresztül fagyott, ezáltal biztosítva azt, hogy teljesen megszilárdult formákkal folytathassuk munkánkat. Egyszerre 3 mintát készítettünk, 2 kockát és egy prizmat. Ezek közül egy kocka illetve a prizma a préshez került mechanikai tesztelésre, egy kockán pedig az olvadás gyorsaságát figyeltük meg.

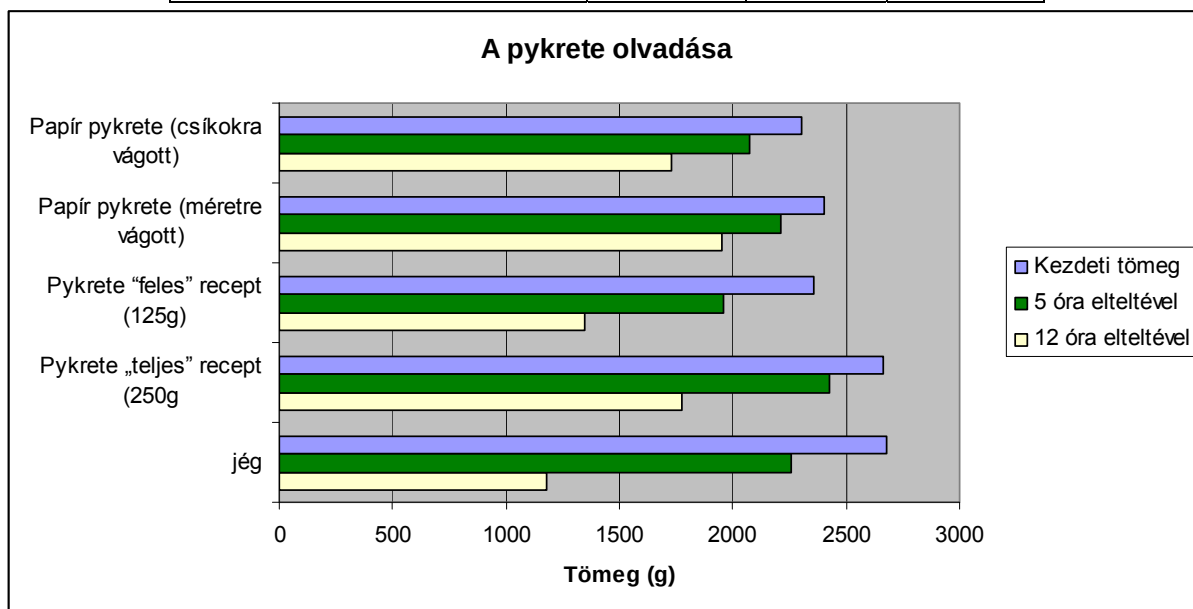
Tesztelés

Az olvadás tesztelése

Minden recept egy kockáját arra használtunk fel, hogy mértük, azt, hogy 5 illetve 12 óra elteltével mennyit veszít a tömegéből. A tesztelés egy konstans 15°C -on levő helyiségben történt, rendszeres mérésekkel, melyeket táblázatba foglaltunk a jobb átláthatóság kedvéért.

A pykrete olvadása

Anyag	Eredeti tömeg (g)	5 óra elteltével (g)	12 óra elteltével (g)
jég	2682	2257	1177
Fűrészporral megerősített pykrete ("teljes" recept, 250g)	2666	2427	1772
Fűrészporral megerősített pykrete („feles" recept, 125g)	2360	1961	1348
Papírral megerősített pykrete (méretre vágott)	2403	2211	1954
Papírral megerősített pykrete (csíkokra vágott)	2305	2075	1726



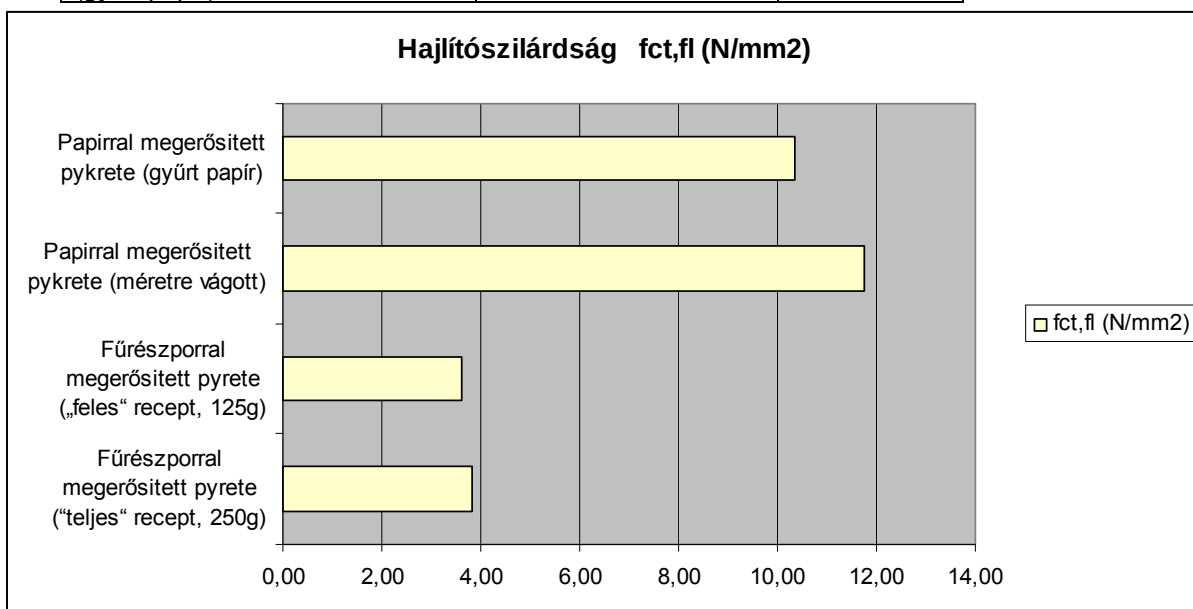
Mechanikai tesztek

Szilárdsági szempontból két tesztet végeztünk. A nyomószilárdságot (f_c) és a hajlítószilárdságot ($f_{ct,fl}$) vizsgáltuk hidraulikus prés segítségével. Először a hajlítószilárdságot

vizsgáltuk a prizmával, majd a prizma eltörésével keletkezett két darabon, valamint a kockákon nyomószilárdságot mértünk. (A táblázatban a mérések eredményének átlaga található. Az egynemű anyagok eredményei között nem voltak olyan jelentős eltérések amelyek indokolták tették volna bizonyos eredmények kizárását.)

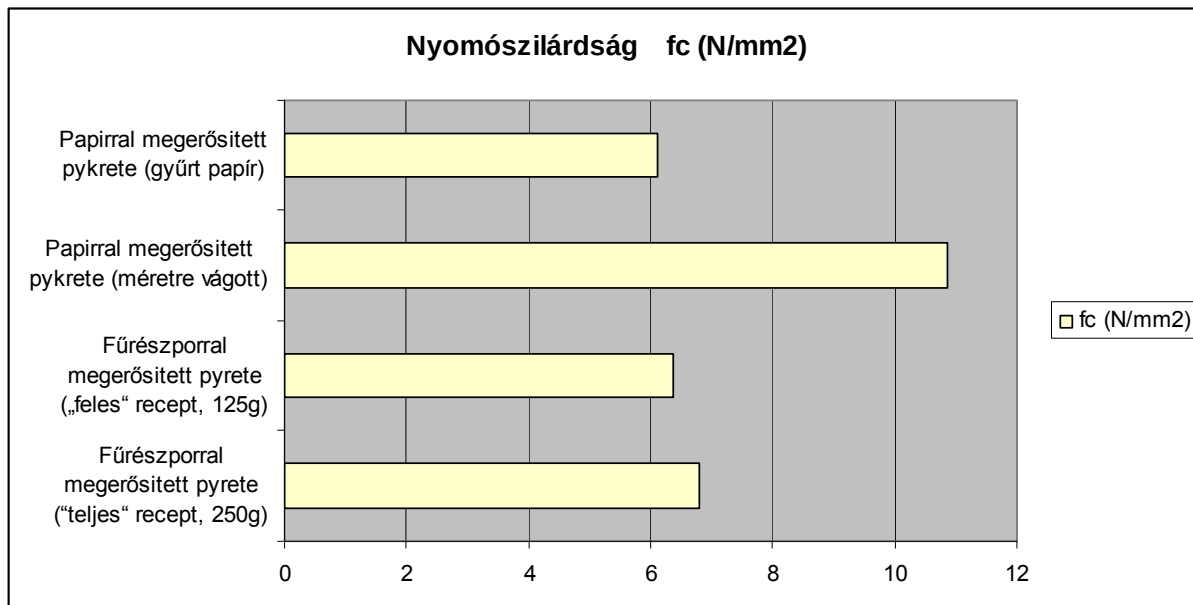
Hajlítószilárdság

Recept	Mért érték (N)	$f_{ct,fl}$ (N/mm ²)
Fűrészporral megerősített pyrete („teljes” recept, 250g)	8500	3,825
Fűrészporral megerősített pyrete („feles” recept, 125g)	8000	3,6
Papírral megerősített pykrete (méretre vágott)	26100	11,745
Papírral megerősített pykrete (gyűrt papír)	23000	10,35



Nyomószilárdság

Recept	Mért érték (N)	f_c (N/mm ²)
Fűrészporral megerősített pyrete („teljes” recept, 250g)	133000	6,785
Fűrészporral megerősített pyrete („feles” recept, 125g)	125000	6,377
Papírral megerősített pykrete (méretre vágott)	213000	10,867
Papírral megerősített pykrete (gyűrt papír)	12000	6,122



Eredmények és következtetések

Mint a mérésekből is kitűnik, néhány recept figyelemre méltó eredményeket mutatott, úgy a hajlítószilárdság mint nyomószilárdság terén. Legjobb eredményeket a hajtogatott, szalagokra vágott papíros receptnél értünk el. Lassan olvad és a nyomószilárdsága megegyezik a C8/10-es betonnal, illetve a hajlítószilárdsága meghaladja a C8/10-es betonét. Hasonlóan jó eredményeket, ha nem is ilyen emelt szintű értékekkel, értünk el minden kísérletünkben. Olvadás terén, bár a jégnél sokkal jobb eredményeket produkál, egyik recept sem vetekedhet a hagyományos építőanyagokkal. Ezek a tények megengedik, hogy néhány következtetést levonjunk és megvizsgáljuk az eredményeket a dolgozat elején leszögezett irányelvek alapján. Gyakorlatilag, felhasználás szempontjából nézve a pycrete és annak variációi csak ott jöhetnek számításba ahol a hőmérséklet nem haladja meg a -5°C -t. Figyelembe kell azt is venni, hogy előállítása nagyobb méretű formákban nehézkes. Arra a következtetésre jutunk, hogy felhasználása csak falazáshoz ajánlott. Itt elsősorban egy a házán kívül eső falra gondolunk, de egy gondolattal továbblépve akár egy külső fészter vagy más hasonló jellegű építmény megvalósítása is szóba jöhet. Téglá formájú darabok előállítása az összes receptből megoldható. Előállítás szempontjából leginkább az egész receptes pycrete ajánlható, mivel ezzel van a legkevesebb munka, illetve, olcsóbb mint a papíros változatok.

Egy fontos szempont, hogy az előállítás során újrahasznosítunk. Manapság nagy hangsúly kerül olyan építőanyagok használatára amelyek nem szennyeznek a környezetet, illetve újrahasznosítják a más felhasználási területekről származó hulladékot. A fűrészporos pycrete esetében bármely fafeldolgozó fűrészpor hulladékát felhasználhatjuk, a papíros receptek esetében pedig bármely papír amelyet beáztatunk kiváló arra, hogy építőanyagot nyerjünk. A fűrészpor hatalmas előnye, hogy a természetbe való kikerülés esetén se szennyezi a környezetet, viszonylag gyors lebomlási ideje van.

Érdekességek-adalékok

Szükségesnek érzünk kiemelni néhány olyan megfigyelést amely befolyásolja az eredményeket, illetve a maguk nemében érdekesek. A minták mechanikai terhelésre elkezdnek csepegni, illetve a terhelés megszűnésével visszafagynak. A hajlítószilárdság meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a minta nem reped hanem belenyomódik a fém, ezért nagyon kell figyelni, hogy tényleg csak a valós hajlítószilárdság értéket mérjük, hiszen akkor amikor a fém annyira belenyomódott a mintába, hogy már a tartólemezek hozzáérnek a minta felületéhez a prés már pluszba méri a nyomószilárdságot is. Bizonyos esetekben (papír receptek) meg kell jegyezni, hogy a nyomószilárdság mérése során a minták több centivel összementek a nyomás hatására. Ez az eredmény viszont nem tekinthető kizáró tényezőnek, mivel minden szempontból egyenletes térfogatcsökkenés megy végbe, s ez is csak a terhelés legfelső értékeinél.

Bibliográfia

- [1] Manea Daniela, Netea Alexandru, *Materiale de construcții și chimie aplicată*, 2006, Ed. Mediamira, Cluj-Napoca
- [2] http://www.royalnavalmuseum.org/info_sheets_Habbakkuk.htm
- [3] <http://www.combinedops.com/Pykrete.htm>
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pykrete>
- [5] <http://www.goodeveca.net/CFGoodeve/pykrete.html>